

## **Utilização de um composto de lamas de ETAR na formulação de substratos para a produção de plantas**

**Sara Moniz Apolo**

Dissertação para a obtenção do Grau Mestre em  
**Engenharia Agronómica**

Orientador: Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro

### **Júri:**

Presidente: Doutora Elisabete Tavares Lacerda de Figueiredo Oliveira, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor Ernesto José de Melo Pestana de Vasconcelos, Professor Catedrático Aposentado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, Orientador.

## **Agradecimentos**

À Câmara Municipal da Maia, pela possibilidade de realizar este ensaio e pela disponibilização do composto de lamas de ETAR e casca de pinheiro, produzido na Estação de Compostagem de Lamas de Parada, composto o qual foi a base do presente trabalho.

Ao Professor Henrique Ribeiro, que me orientou ao longo de todo o ensaio, por toda a disponibilidade e paciência.

Ao engenheiro do Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas do Instituto Superior de Agronomia, Miguel Martins e à Catarina Chemetova Oliveira por toda a ajuda, apoio e simpatia durante todos os procedimentos.

Aos meus amigos Zita, Telma, Catarina, Mariana e Miguel, por toda a companhia e boa disposição que me ajudaram muito durante este período, mesmo nos dias mais desesperantes.

À minha família, que sempre me apoiaram em qualquer decisão e me educaram para ser o melhor de mim.

## Resumo

Este trabalho teve com objetivo avaliar o crescimento em viveiro de jovens plantas de 3 espécies florestais, eucalipto (*Eucalyptus globulus*), pinheiro manso (*Pinus pinea*) e pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), cultivadas em substratos obtidos a partir de um composto de lamas de ETAR e casca de pinheiro.

Foram comparadas 7 modalidades. 4 modalidades contendo composto (CO) em mistura com turfa (T), fibra de coco (FC) e casca de pinheiro (CP), nas seguintes percentagens em volume: A (25%T+50%CO+25%CP), B (25%T+75%CO), C (50%T+50%CO) e D (25%T+50%CO+25%FC). 3 modalidades constituídas apenas por turfa (100%T): E, F e G. Às modalidades A, B, C, D, E e F foi aplicada uma fertilização com macronutrientes (3 g/L de adubo NPK+Mg+S), à modalidade F aplicou-se também micronutrientes e à modalidade G aplicou-se micronutrientes e uma maior quantidade de adubo com macronutrientes (4 g/L de adubo NPK+Mg+S).

Apesar dos valores de condutividade elétrica e da presença de metais no composto, nos ensaios com agrião-de-jardim (*Lepidium sativum*) a germinação das sementes não foi afetada e observou-se mesmo um maior crescimento radicular nas modalidades com composto.

Os substratos com composto apresentaram concentrações de nutrientes extraíveis maiores do que a turfa, fibra de coco e casca de pinheiro, indicando que o composto disponibiliza quantidades apreciáveis de nutrientes.

Nas três espécies, o crescimento das plantas nos substratos com composto (fertilizados apenas com 3 g/L de adubo NPK+Mg+S) foi sempre superior, ou igual, ao crescimento observado na modalidade G (100% turfa, 4 g/L de adubo NPK+Mg+S e micronutrientes).

A utilização de composto permitiu reduzir em 25% a quantidade de adubo contendo macronutrientes aplicado e eliminar totalmente os adubos com micronutrientes. Os substratos com composto demonstraram-se alternativas fiáveis aos substratos convencionais contendo apenas turfa, permitindo, também, reduzir o uso da turfa em, pelo menos, 50% em volume.

**Palavras-chave:** composto; substrato; fibra de coco; casca de pinheiro; turfa.

## Abstract

The purpose of this assay was to evaluate the growth of three species (*Eucalyptus globulus*, *Pinus pinea* and *Pinus pinaster*) cultivated on a sewage sludge and pine bark compost growing media. Seven growing media were compared. 4 obtain with different mixtures of compost (CO), peat (T), pine bark (CP) and coconut fiber (FC), in the following percentages: A (25% T + 50% CO + 25% CP), B (25% T + 75% CO), C (50% T + 50% CO) and D (25% T + 50% CO + 25% FC). The other 3 growing media only had peat (100% T): E, F and G. A fertilization with macronutrients (3 g/L of NPK + Mg + S fertilizer) was applied to growing media A, B, C, D, E and F, to F and G were also applied micronutrients and G still received more fertilization with macronutrients (4 g / L of NPK + Mg + S fertilizer).

Despite the values of electrical conductivity and heavy metals in the compost, germination was not affected in the tests with watercress (*Lepidium sativum*) and a higher root growth was observed in the growing media with compost.

The growing media with compost had a higher concentration of nutrients than peat, coconut fiber and pine bark, indicating that this compost provides an appreciable amount of nutrients.

In the three species, the growth of the plants in the growing media with compost (fertilized with only 3 g/L of fertilizer NPK + Mg + S) was always superior or equal to the growth observed in the growing media G (100% peat, 4 g / L of fertilizer NPK + Mg + S and micronutrients).

The use of compost allowed to reduce by 25% the amount of fertilizer containing macronutrients applied and totally eliminate the micronutrients fertilization. The growing media with compost proved to be a reliable alternative to the conventional substrates used, containing only peat, also allowing to reduce its use in at least 50% by volume.

**Keywords:** compost; growing media; coconut fiber; pine bark; peat.

# Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	i
<b>Resumo</b> .....	ii
<b>Abstract</b> .....	iii
<b>Índice</b> .....	iv
<b>Índice de figuras</b> .....	vi
<b>Índice de quadros</b> .....	vii
<b>1. Introdução</b> .....	1
<b>2. Revisão bibliográfica</b> .....	2
2.1. Características dos substratos .....	2
2.1.1. Propriedades físicas .....	2
2.1.2. Propriedades químicas .....	3
2.1.3. Propriedades biológicas.....	3
2.2. Principais materiais utilizados na formulação de substratos .....	3
2.2.1. Turfa .....	3
2.2.1.1. Formação das turfeiras.....	4
2.2.1.2. Consequências da extração de turfa .....	5
2.2.1.3. Importância das turfeiras .....	6
2.2.1.4. Substratos de turfa .....	7
2.2.2. Fibra de coco .....	8
2.2.3. Casca de pinheiro .....	10
2.2.4. Composto .....	12
2.2.4.1. Processo de compostagem .....	12
2.2.4.2. Qualidade do composto.....	16
2.2.4.3. Substratos com composto .....	18
<b>3. Material e métodos</b> .....	21
3.1. Substratos .....	21
3.1.1. Materiais utilizados na formulação dos substratos.....	21

3.1.2. Preparação das diferentes modalidades .....	22
3.2. Caracterização analítica dos substratos .....	23
3.2.1. Caracterização física .....	23
3.2.2. Caracterização química .....	24
3.2.3. Toxicidade .....	25
3.3. Instalação e condução do ensaio .....	26
3.4. Avaliação do crescimento das plantas.....	28
3.4.1. Eucalipto .....	28
3.4.2. Pinheiro Manso e Pinheiro Bravo .....	29
3.5. Análise do eucalipto em laboratório .....	30
3.6. Análise estatística.....	30
<b>4. Resultados e discussão .....</b>	<b>31</b>
4.1. Características dos substratos .....	31
4.1.1. Propriedades físicas .....	31
4.1.2. Propriedades químicas .....	34
4.1.3. Ensaio com agrião-de-jardim .....	40
4.2. Ensaio de crescimento de espécies florestais em contentores .....	42
4.2.1. Eucalipto .....	42
4.2.1.1. Germinação das sementes e crescimento das plantas.....	42
4.2.1.2. Composição da parte aérea da planta .....	45
4.2.2. Pinheiro Bravo .....	47
4.2.2.1. Germinação das sementes e crescimento das plantas.....	47
4.2.3. Pinheiro Manso .....	49
4.2.3.1. Germinação das sementes e crescimento das plantas.....	49
<b>5. Conclusões .....</b>	<b>52</b>
<b>6. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>54</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Constituintes de substratos usados na União Europeia (Evans, 2009).....	8
<b>Figura 2:</b> Variações de 6 propriedades de um substrato com turfa e fibras de madeira, à medida que a concentração de fibras de madeira aumenta (Schmilewski, 2008).....	11
<b>Figura 3:</b> Flutuações da população microbiana no interior da pilha de compostagem (Stoffela e Kahn, 2005).....	14
<b>Figura 4:</b> Contentores para os pinheiros preenchidos com as diferentes modalidades, de forma aleatória.....	27
<b>Figura 5:</b> Contentores após serem cobertos com o filme plástico (A: Eucalipto; B: Pinheiros).....	27
<b>Figura 6:</b> Primeiras plântulas emergidas de eucalipto e pinheiro manso, respectivamente.....	28
<b>Figura 7:</b> Plantas após terem sido transferidas para o viveiro florestal do Instituto Superior de Agronomia.....	28
<b>Figura 8:</b> medições efectuadas nas plantas de eucalipto (A: Altura da planta; B: Diâmetro do colo; C: Leitura SPAD; D: Imagem utilizada no software ImageJ para medir a área foliar).....	29
<b>Figura 9:</b> Escala utilizada na análise visual das raízes dos eucaliptos.....	29
<b>Figura 10:</b> Resultados do ensaio de germinação das modalidades A, B, C e D, turfa (T), fibra de coco (FC), casca de pinheiro (CP) e composto (CO).....	41
<b>Figura 11:</b> valores médios da percentagem de germinação dos eucaliptos, por modalidade.....	42
<b>Figura 12:</b> valores médios referentes à percentagem de germinação dos pinheiros bravos, por modalidade.....	48
<b>Figura 13:</b> valores médios da percentagem de germinação dos pinheiros mansos, por modalidade.....	50

## Índice de Quadros

<b>Quadro 1:</b> Valores médios das propriedades físicas da fibra de coco (Schmilewski, 2008).....	9
<b>Quadro 2:</b> Principais critérios de qualidade para um composto ser aceite na formulação de substratos, de acordo com a autoridade alemã que assegura a qualidade dos compostos (RAL) (Schmilewski, 2008).....	16
<b>Quadro 3:</b> Valores máximos admissíveis para os teores totais de metais pesados na matéria fertilizante com componentes orgânicos, por classe, miligramas por quilogramas de matéria seca (D.L. 103/2015).....	18
<b>Quadro 4:</b> Especificação das diferentes modalidades utilizadas no ensaio.....	22
<b>Quadro 5:</b> Quantidade de nutrientes ( $\mu\text{mol/L}$ de substrato) e quantidade de reagentes químicos laboratoriais ( $\text{mg/L}$ substrato) aplicado aos substratos F e G. ....	22
<b>Quadro 6:</b> Massa volúmica aparente, porosidade total e contratilidade dos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e dos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco) .....	32
<b>Quadro 7:</b> Retenção de água a pF1; pF1,7 e pF2 dos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e dos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).....	33
<b>Quadro 8:</b> Arejamento a pF1, água facilmente disponível, água de reserva e água disponível dos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e dos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).....	34
<b>Quadro 9:</b> pH e condutividade elétrica (CE), no extrato aquoso 1:5 (v/v), dos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e dos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).....	35
<b>Quadro 10:</b> Teores de azoto nítrico ( $\text{N-NO}_3^-$ ), azoto amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e azoto mineral nos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e nos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco), no extrato aquoso 1:5 (v/v).....	36
<b>Quadro 11:</b> Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) dos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e dos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).....	37



<b>Quadro 12:</b> Teores de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganés (Mn) e boro (B) nos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e nos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).....	38
<b>Quadro 13:</b> Cloretos presentes nos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e nos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).....	39
<b>Quadro 14:</b> Valores médios de zinco (Zn), níquel (Ni), chumbo (Pb), cádmio (Cd), crómio (Cr) e cobre (Cu) presentes nos materiais que deram origem às modalidades (CO: composto; CP: casca de pinheiro; T: turfa; FC: fibra de coco).....	40
<b>Quadro 15:</b> Valores do índice de germinação, comprimento das raízes e Índice de Vitalidade de Munoo-Liisa (MLVI) dos substratos.....	41
<b>Quadro 16:</b> Valores médios da altura, diâmetro do colo, leitura SPAD, área foliar e classificação das raízes dos eucaliptos desenvolvidos no ensaio em tabuleiros.....	43
<b>Quadro 17:</b> Valores médios do peso fresco e peso seco dos caules, folhas e total da parte aérea dos eucaliptos desenvolvidos no ensaio em tabuleiros.....	44
<b>Quadro 18:</b> Teores médios de azoto (N), potássio (K), e fósforo (P) na parte aérea das plantas de eucalipto (g por kg de matéria seca).....	46
<b>Quadro 19:</b> Teores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) na parte aérea das plantas de eucalipto (g por kg de matéria seca).....	46
<b>Quadro 20:</b> Teores médios de ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) na parte aérea das plantas de eucalipto (mg por kg de matéria seca).....	47
<b>Quadro 21:</b> Valores médios da altura, diâmetro do colo, peso fresco, peso seco e classificação das raízes dos pinheiros bravos desenvolvidos no ensaio em tabuleiros.....	49
<b>Quadro 22:</b> Valores médios da altura, diâmetro do colo, peso fresco e peso seco da parte aérea e classificação das raízes dos pinheiros mansos desenvolvidos no ensaio em tabuleiros.....	51

# 1. Introdução

Os substratos para cultivo sem solo têm evoluído bastante, desde os primeiros substratos com base em solo mineral até às misturas utilizadas atualmente, onde predominam os componentes orgânicos como turfa, casca de pinheiro, entre outros (Miner, 1994). A turfa, devido à sua homogeneidade e excelentes propriedades físicas, é há muito utilizada como o principal componente de substratos em todo o mundo. No entanto, a sustentabilidade deste material é questionável uma vez que a exploração de turfeiras envolve diversos problemas ambientais tais como a destruição de habitats e emissão de carbono para a atmosfera.

Com a demanda crescente que existe atualmente, num ambiente de grande instabilidade climática, verifica-se uma utilização excessiva dos recursos não renováveis disponíveis e consequente detioração do meio ambiente. Tendo em conta estes fatores, começou a haver a necessidade de recorrer a materiais diversos, que outrora eram considerados resíduos indesejáveis ou subprodutos com baixo valor económico (Miner, 1994). O uso de materiais alternativos providencia diversos benefícios à medida que os danos causados no ecossistema pela extração de turfa são evitados e o impacto da acumulação de resíduos é minimizada. O uso de resíduos também possui a vantagem de ser mais económico em comparação com os materiais convencionais (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005).

O presente estudo surge em continuidade do trabalho de Costa (2018) e pretende avaliar a possibilidade de valorizar um composto obtido a partir de lamas de ETAR e casca de pinheiro, produzido pelo Município da Maia, na formulação de substratos. Foram testadas 4 misturas de composto com diferentes materiais (fibra de coco, casca de pinheiro, turfa) e 3 modalidades controlo com 100% turfa e diferentes concentrações de fertilizante. Examinou-se a resposta de três espécies produzidas em viveiro (*Pinus pinea*, *Pinus pinaster* e *Eucalyptus globulus*) a estas diferentes modalidades, com o objetivo de encontrar um substrato eficaz e que permita a redução da percentagem de turfa utilizada, tendo em conta todos os problemas ambientais que a sua extração provoca.

## **2. Revisão bibliográfica**

### **2.1. Características dos substratos**

Através do uso de substratos de cultivo com características conhecidas é possível obter melhores resultados/produções em cultivo sem solo do que através do cultivo em solo (Miner, 1994), uma vez que com substrato é possível manipular as características necessárias para o melhor desenvolvimento da planta, tais como a disponibilidade de nutrientes, capacidade de retenção de água, granulometria, entre outros.

Segundo Ferreira (1991), os substratos devem obedecer as seguintes condições: bom arejamento; porosidade; permeabilidade e agregação; elevada capacidade de troca catiónica; boa capacidade de retenção de água; permitir uma desinfecção fácil (quer por meios físicos ou químicos); estar isento de infestantes. No entanto, de um modo geral, não é possível alcançar todas estas características com um único material, sendo o mais usual utilizar substratos resultantes da mistura de diversos materiais.

À medida que estas propriedades foram sendo estudadas definiram-se padrões e intervalos de valores que se considera que caracterizam as condições ideais, tendo em conta a aplicação em vista para o substrato (Schmitz *et al.*, 2002).

#### **2.1.1. Propriedades físicas**

O substrato é caracterizado por três frações: sólida, líquida e gasosa; a fração sólida consiste no próprio material do substrato, a fração líquida é responsável pelo fornecimento de água e nutrientes e a fração gasosa pela disponibilização de oxigénio às raízes (Costa, 2018). As propriedades físicas mais importantes para a avaliação da qualidade de um material como substrato estão relacionadas com a granulometria (distribuição e tamanho das partículas) e a porosidade (que afeta a distribuição entre a fase líquida e gasosa do substrato). Estas características são de grande relevância uma vez que são dificilmente alteradas, ao contrário das propriedades químicas (Miner, 1997).

### 2.1.2. Propriedades químicas

Para além de propriedades físicas adequadas, um substrato deve disponibilizar os nutrientes necessários às plantas, o que enfatiza a importância das propriedades químicas deste. Por norma o substrato não é inerte, sendo que interage com a solução nutritiva atuando como reserva de nutrientes, através da sua capacidade de troca catiónica (CTC), que está relacionada com a acidez/pH do material (Miner, 1997).

A salinidade também constitui um fator de grande importância, uma vez que ao reduzir o volume de substrato disponível para as raízes, ao se aplicar a mesma quantidade de nutrientes exigidos pela planta, a concentração de nutrientes presentes na solução do solo vai aumentar (Miner, 1997). Quanto maior for a concentração de sais no substrato, maior vai ser a sua CTC.

### 2.1.3. Propriedades biológicas

Quando se utilizam materiais orgânicos como substratos é necessário ter em consideração os microrganismos possivelmente nestes presentes. No entanto, mesmo quando um material se encontra estéril, o substrato utilizado para o cultivo de plantas torna-se num habitat ideal para o desenvolvimento de colónias de microrganismos com o tempo (Beozzi, 2013).

## 2.2. Principais materiais utilizados na formulação de substratos

### 2.2.1 Turfa

A turfa é mundialmente considerada como um substrato seguro e com uma boa relação preço-qualidade. Os substratos designados por “turfa” são normalmente mistura de turfas de diferente qualidade (exemplo, turfa negra e turfa loira), que podem ter características distintas em função do tipo de vegetação que a originou, estado de decomposição e teor em minerais. No entanto, toda a turfa tem uma elevada capacidade de retenção de água, baixo nível em nutrientes disponíveis e um baixo valor de pH (3 - 4,5) (Brito e Mourão, 2018).

As misturas de turfa possuem uma combinação única de propriedades que possibilitam a retenção de grandes quantidades de água (característica mais relevante e que determina a sua ampla utilização na constituição de substratos), ar e nutrientes,

dando origem a um substrato com condições deveras favoráveis para o desenvolvimento de diversos tipos de plantas (Robertson, 1993). Em Portugal, é abrangentemente utilizada em viveiros e é importada dos países nórdicos, o que a torna num recurso mais dispendioso (Cunha-Queda *et al.*, 2007).

A turfa de *sphagnum* é a mais utilizada normalmente devido às suas características: densidade de aproximadamente 110 g L<sup>-1</sup>; capacidade de retenção de água 15 - 30 vezes superior ao seu peso seco, 75 - 80% da sua porosidade total; teor de azoto de 0,6 - 1,4%, considerado baixo; capacidade de troca catiónica de 180 meq/100 g (Brito e Mourão, 2018).

Segundo Schmielewski (2008) a turfa, apesar de não ser tecnicamente estéril, encontra-se isenta de sementes de infestantes e de patogénicos, quando obtida de fontes fiáveis (devido às condições de produção controladas). Ainda é estável sob condições de armazenamento; fácil de manipular e é possível encontrar disponíveis grandes quantidades a um preço razoável. É biodegradável, apesar de a sua estrutura permitir que seja resistente mesmo sob uso intensivo (Robertson, 1993). Muitos produtores até se referem à turfa como “ouro negro”, uma vez que consideram que não há substrato melhor para o desenvolvimento de plantas sem solo (Alexander *et al.*, 2008).

Após terem sido realizadas calagem e fertilização, a turfa consiste no único constituinte de diversos substratos utilizados em todo o mundo (Schmielewski, 2008) e, devido às suas propriedades excecionais, é recorrentemente usada como padrão de comparação no estudo de novos materiais e substratos (Schmitz *et al.*, 2002).

Antes de ser utilizada normalmente é necessário elevar o seu pH, recorrendo-se para tal a uma aplicação de calcário (aproximadamente 240 g de calcário por m<sup>3</sup> de turfa por cada 0,1 unidades de pH que se pretende subir). A quantidade de calcário dolomítico não deverá ser superior a 2,4 kg m<sup>3</sup> para se evitarem desequilíbrios nutricionais com o potássio (Brito e Mourão, 2018).

#### 2.2.1.1. Formação das turfeiras

A acumulação de grandes depósitos de matéria orgânica, a qual virá a dar origem à turfa, é possível devido à ocorrência de precipitação elevada, juntamente com uma topografia e geologia adequadas, o que resulta em alagamento. As condições anaeróbias e acidicas atrasam a decomposição microbológica, o que resulta na acumulação de matéria orgânica (Tonks *et al.*, 2017). Assim sendo, um *input* constante de matéria orgânica parcialmente decomposta deve ser mantido de forma a favorecer a

acumulação de turfa. Quando a taxa de decomposição é rápida e elevada a turfa não se vai acumular, mas sim ser decomposta com consequente libertação de gases e dissolução dos ácidos orgânicos e outras substâncias (Anshari *et al.*, 2010)

Ao longo do processo de decomposição os componentes químicos e orgânicos são alterados devido à perda de carbono e à conversão dos materiais mais facilmente degradáveis (tais como polissacáridos, celuloses e hemiceluloses) apenas permanecendo os compostos mais recalcitrantes como lenhinha e substâncias húmicas. A estrutura dos poros criada pelas fibras dos materiais lenhosos começa a estreitar e a comprimir devido à oxidação, reduzindo consequentemente a porosidade total e aumentando a densidade aparente. Como consequência de todo este processo a percolação de água ao longo do perfil onde a turfa se está a formar diminui, reduzindo a condutividade hidráulica. As características referentes ao armazenamento de água também vão sendo alteradas à medida que a capacidade de armazenamento de água diminui e a capacidade de retenção aumenta, o que implica, por sua vez, alterações no fluxo de gases dentro das turfeiras.

Segundo Lamim *et al.* (2001), estima-se que são necessários aproximadamente 100-500 anos para produzir uma camada de 30 centímetros de turfa.

#### 2.2.1.2. Consequências da extração de turfa

O processo de extração de turfa inicia-se com a desflorestação da área em causa, ou seja, com a remoção de vegetação com estruturas complexas o que resulta numa drástica redução nos inputs de biomassa/matéria orgânica (Tonks *et al.*, 2017). Com a tecnologia recente de extração, existe uma taxa de extração comercial superior à capacidade de regeneração das turfeiras, deixando grandes áreas desnudas. Esta continua extração impossibilita a regeneração destes locais (Barkham, 1993).

No entanto o maior problema referente a este processo consiste na emissão de elevadas quantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera (Tonks *et al.*, 2017). Globalmente é estimado, segundo Barkham (1993), que as turfeiras contenham 3-3,5 vezes mais carbono do que as florestas tropicais húmidas (apesar de cobrirem apenas metade da área). Cada metro quadrado de turfa extraída vai, eventualmente, libertar 50 kg de CO<sub>2</sub> e ainda mais é libertado durante o processo de drenagem (Alexander *et al.*, 2008). É estimado que os recursos de turfa da terra contenham 329-528 biliões de toneladas de carbono, o que equivale a 1200-1900 biliões de toneladas de CO<sub>2</sub> (Barkham, 1993). A gestão das turfeiras, portanto contribui para conservar as reservas de carbono e pode atenuar a agravação das alterações climáticas (Alexander *et al.*, 2008).

Com as turfeiras a serem cada vez mais reconhecidas como importantes reservatórios de carbono e os possíveis efeitos climáticos da sua libertação (aquecimento global), é necessário encontrar uma abordagem mais consistente para o uso de turfa na Comunidade Europeia, ligada à gestão do carbono e à proteção ambiental, indica Alexander (2008).

Segundo Barkham (1993), as desvantagens da extração de turfa consistem na perda de valor científico, cultural e estético de um sistema dinâmico, natural, vivo, em desenvolvimento, com animais e plantas interrelacionados que, através das suas condições peculiares de formação, também fornece um registro inestimável da história da área circundante.

Schmielewski (2008) consigna que dada a constante demanda por substratos de elevada qualidade, a necessidade de reduzir o volume de substrato disponível para as plantas (vasos, tabuleiros) e tendo em conta a restrita extração de turfa nalguns países europeus, é inevitável que no futuro as empresas que produzem substratos comecem a ser forçadas a importar maiores quantidades de turfa. A procura de substratos por parte dos países com uma produção hortícola comercial intensiva, mas sem as reservas nacionais necessárias para tal, vai levar a que estes sejam forçados a importar turfa de países com uma grande riqueza em turfeiras como os Países Bálticos. A Holanda já se encontra nesta situação, com a exploração exaustiva das suas turfeiras acabou por esgotar este valioso recurso (Schmielewski, 2008).

### 2.2.1.3. Importância das turfeiras

Nestes ecossistemas únicos é possível encontrar um conjunto de plantas, insetos e aves adaptados a um ambiente que possui aproximadamente 98% de água. Estas espécies possuem grande valor científico, uma vez que o ambiente extremo das turfeiras levou a que desenvolvessem diversas características úteis, tais como a fixação de nitrogénio e a digestão de proteínas. Muitas estão somente adaptadas a este tipo de habitat e já são consideradas raras, no entanto o seu habitat natural continua a ser perdido à medida que a intensa exploração das turfeiras continua (Barkham, 1993).

A estrutura dos solos das turfeiras é responsável por vários processos do ecossistema, uma vez que regula as características hidrológicas da bacia em que a turfa está a ser formada. O rico conteúdo em matéria orgânica e baixa densidade aparente permite à turfa agir como um reservatório de água, amenizando situações extremas como períodos de inundação ou seca (Tonks *et al.*, 2017).

Também é possível recorrer às turfeiras como indicadores biológicos, uma vez que criam um arquivo histórico de grande importância capazes de registrar até mesmo

baixos níveis de entrada de nutrientes, funcionando assim como indicadores extremamente sensíveis às mudanças ambientais (Barkham, 1993),

Já é aceite que, a longo prazo, a preocupação com o meio ambiente não pode ser separada do desenvolvimento, esta é a chave para um desenvolvimento sustentável (Cruickshank *et al.*, 1995). No Reino Unido, apesar de possuírem diversas turfeiras, o governo já encoraja o uso de alternativas, tentando assim reduzir o consumo de turfa. É necessário conservar os habitats e as espécies associadas às turfeiras, por todos estes motivos cada vez é tida mais em conta a sustentabilidade ambiental. A extração de turfa destrói habitats raros e herança cultural, afeta o fluxo hidrológico e muito possivelmente contribui para as alterações climáticas (Alexander *et al.*, 2008).

#### 2.2.1.4. Substratos de turfa

A turfa é indubitavelmente o constituinte mais importante da maioria dos substratos (contatável na figura 1), no entanto o uso de materiais alternativos está a ser vigorosamente promovido (até imposto) devido a novos estudos que têm sido feitos e em prol de um desenvolvimento sustentável. Nos últimos anos tem havido consideravelmente mais financiamento para a investigação de alternativas sustentáveis para a turfa, tentando assim reduzir a sua utilização (Schmilewski, 2008). No entanto Fain *et al.* (2008) mencionam que grande parte dos materiais alternativos que já foram estudados possuem a incerteza de eventualmente não haver disponibilidade do substrato, com uma qualidade consistente, em quantidades capazes de sustentar a indústria no futuro.

Vários retalhistas foram-se aperceberam-se que o uso de turfa é cada vez mais associado a publicidade negativa e começaram a tomar medidas para reduzir a sua dependência deste material (Alexander *et al.*, 2008). Começou-se a desenvolver novas misturas de materiais com turfa de forma a enaltecer os pontos positivos desta, enquanto se acresce características como maior capacidade de supressão de doenças (Raviv, 2014) e aumento da vida útil do produto em termos de armazenamento de água e capacidade de libertação de nutrientes (Alexander *et al.*, 2008). O principal objetivo desta substituição é usar materiais sustentáveis (preferencialmente com fontes perto do mercado) que realmente acresçam valor à mistura final (Alexander *et al.*, 2008).

A turfa, assim como muitos combustíveis fósseis, é extraída pronta a utilizar e os custos da sua extração nunca poderão refletir o tempo que foi necessário para que o material se acumulasse e desenvolvesse as suas propriedades únicas. Uma gama muito diferente de preços é atribuída a muitos dos possíveis substitutos para a turfa, devido aos seus requisitos de processamento e manuseamento. Isto dificulta o investimento



nestas alternativas ambientalmente sustentáveis (Alexander *et al.*, 2008), uma vez que se tornam insustentáveis a nível económico.

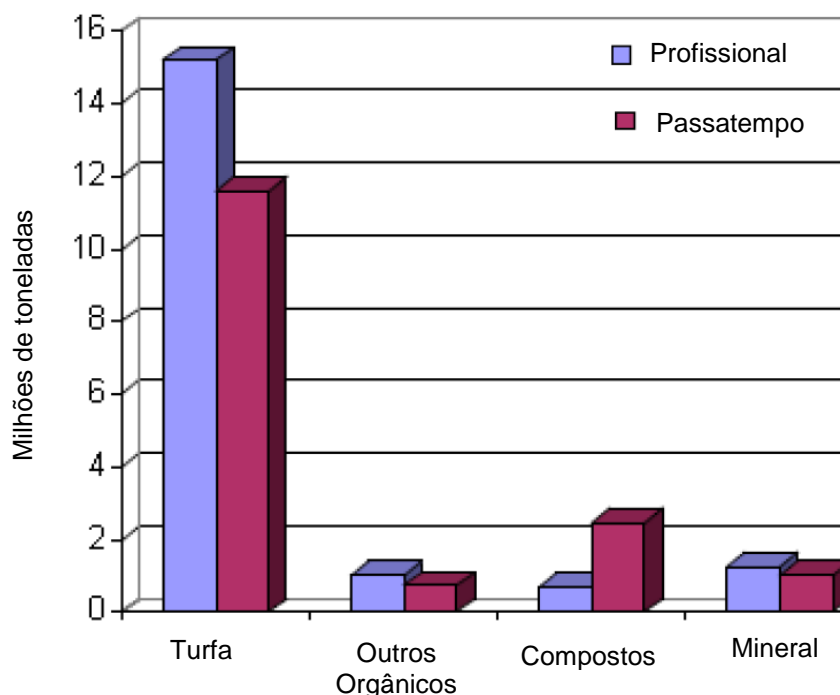


Figura 1: Constituintes de substratos usados na União Europeia (Evans, 2009).

Os correntes principais substitutos para a turfa consistem em cascas de espécies lenhosas (pinheiro, abeto, entre outros), fibras de madeira, fibra de coco e resíduos verdes compostados (composted green wastes – CGW; são os materiais mais difíceis de controlar em termos de qualidade) (Alexander *et al.*, 2008). A combinação de turfa e composto nos substratos é sinérgica, a turfa vai melhorar o arejamento e a capacidade de retenção de água enquanto que o composto melhora a capacidade de fertilização do substrato (Ostos *et al.*, 2008).

### 2.2.2. Fibra de coco

Este tipo de material constitui um subproduto da indústria de processamento do coco obtido através do mesocarpo espesso fibroso de cor acastanhada do fruto do coqueiro (*Coco nucífera*) (Brito e Mourão, 2018). É necessário picar, desfibrar, triturar, lavar e secar a casca do coco para que esta possa ser utilizada em sistemas de cultivo sem solo (Carrijo *et al.*, 2002). As características químicas e físicas da fibra de coco variam consideravelmente, dependendo da sua origem, tempo de armazenamento e da

duração do processo de tratamento (Schmilewski, 2008), sendo que a variabilidade da textura (consoante a espessura das partículas), a qual influencia diretamente as relações de equilíbrio do conteúdo em ar e água, é de extrema relevância para o cultivo de plantas (Brito e Mourão, 2018). Os valores médios das propriedades físicas da fibra de coco encontram-se enumerados no quadro 1.

De uma forma geral, é um substrato com elevada porosidade, boa capacidade de retenção de água facilmente disponível para as raízes (capacidade para reter água em 70 - 80% da sua porosidade total), elevada capacidade de arejamento, conteúdo em sais variável e pH baixo (5,5 - 6,5) (Brito e Mourão, 2018).

A fibra de coco pode ser tanto utilizada em combinação com turfa ou como um substituto desta, uma vez que depois de processada apresenta propriedades semelhantes (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005), tais como a sua capacidade de reidratação, a qual por vezes até pode ser superior à da turfa (Brito e Mourão, 2018).

Este material possui diversas vantagens, tais como facilidade de produção, grande disponibilidade (a produção de coco tem vindo a expandir ao longo dos anos), elevada porosidade, fibras inertes pelo que não reage com os nutrientes veiculadas pela fertilização (Carrijo *et al.*, 2002). A sua grande percentagem de lignina (35-45%) e celulose (23-43%) conferem a este tipo de substrato um grau de decomposição reduzido, o que se traduz em grande durabilidade (por norma demora mais de 8 anos para ser decomposto, o que é vantajoso do ponto de vista ambiental) (Carrijo *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2006). Ainda é possível compostar, secar e comprimir as fibras em blocos de forma a facilitar o seu transporte, sendo depois reidratadas para possibilitar a sua utilização como substrato (Brito e Mourão, 2018).

Quadro 1: Valores médios das propriedades físicas da fibra de coco (Schmilewski, 2008).

Propriedades físicas	Método	Unidade	Fibra de coco
Teor de humidade	EN 13040	% (m/m)	15-20
Matéria seca	EN 13040	% (m/m)	80-85
Matéria orgânica (matéria seca)	EN 13039	% (m/m)	94-97
Densidade aparente	EN 12580	g/L	30-50
Capacidade de retenção de água	EN 13041	% (v/v)	8-12
Porosidade total	EN 13041	% (v/v)	95-98
Capacidade de arejamento	EN 13041	% (v/v)	83-90
Contratilidade	EN 13041	%	4-10

A fibra de coco, no entanto, pode apresentar níveis tóxicos de taninos, cloreto de potássio e sódio. De forma a diminuir a concentração destas substâncias, o processo de lavagem deve ser meticuloso e a água utilizada tem que ter qualidade (livre de substâncias químicas e patógenos). Este tipo de substrato também possui o inconveniente de ser pobre a nível nutricional (tem baixos teores em nutrientes exceto fósforo e potássio (Brito e Mourão, 2018)), o que torna a fertilização um fator chave, quer em pré-plantio ou em fertirrega (Carrijo *et al.*, 2002).

Fain *et al.* (2008) consideram que a fibra de coco já se demonstrou muito promissora como um substituto de turfa, no entanto os elevados custos de transporte (o custo de substratos à base de fibra de coco é normalmente mais do que o dobro do que o custo de substratos com base em casca de pinheiro (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005)) e a existência de uma certa inconsistência na qualidade do produto são fatores que limitam a sua aceitação.

### 2.2.3. Casca de pinheiro

Em 2017 a área florestal ocupada por pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) e pinheiro-manso (*Pinus pinea*) em Portugal era de 1 083 372 ha e 197 325 ha, respetivamente (Costa, 2018). O pinheiro manso é uma espécie com grande importância económica, passível de se encontrar no sul da Europa, maioritariamente na Península Ibérica e França (Nunes *et al.*, 1999). É considerada uma espécie ecologicamente importante, com reconhecida capacidade de proteger outras espécies, tais como o sobreiro e a azinheira (Nunes *et al.*, 1999). *P. pinea* é utilizado para a produção do pinhão e para a extração de resina, enquanto que o pinheiro bravo é produzido maioritariamente para a obtenção de madeira. A casca de pinheiro constitui um subproduto/resíduo destas indústrias.

Substratos com base em fibras de madeira constituem uma alternativa fiável para o uso de turfa e já são utilizados como tal, em parte devido à alteração de propriedades físicas a que este material dá origem, quando em mistura com outros materiais (figura 2). Dentro destas fibras, a casca de pinheiro é a mais utilizada para formular substratos uma vez que é um material economicamente fiável, apesar de ter de ser triturado/moído e crivado (< 2 - 3 cm). É um material que permite uma drenagem eficiente, possui elevada capacidade de troca catiónica (50-55 meq/100 g) e um valor de pH baixo a neutro (pH (H<sub>2</sub>O): 4-7) (Brito e Mourão, 2018).

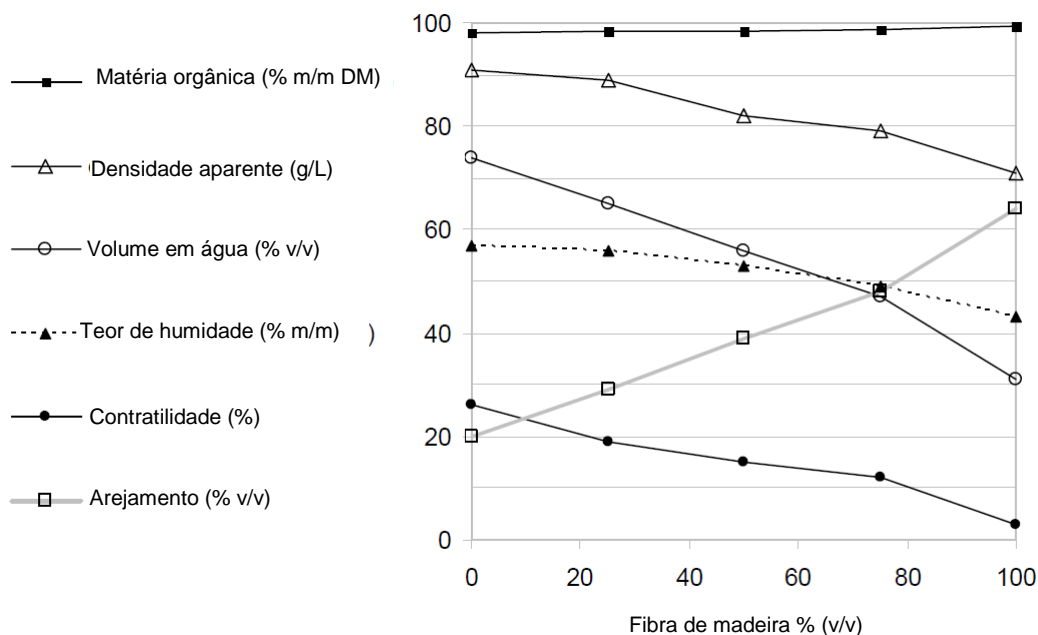


Figura 2: Variações de 6 propriedades de um substrato com turfa e fibras de madeira, à medida que a concentração de fibras de madeira aumenta (Schmilewski, 2008).

No entanto, tem a desvantagem de contribuir para a imobilização do azoto do substrato durante a sua decomposição, enquanto que outros materiais, como os compostos de resíduos verdes, podem disponibilizar azoto e outros nutrientes durante a decomposição (Brito e Mourão, 2018). Os microrganismos recorrem ao azoto presente nas fibras de madeira para construir componentes proteicos essenciais à sua estrutura, diminuindo a quantidade de azoto facilmente disponível para as plantas (Gruda e Schnitzler, 1999). Assim sendo, na produção industrial deste tipo de substrato é necessário adicionar azoto, reduzindo assim os efeitos negativos nas plantas. É importante ter em atenção que o uso de substratos com fibras de madeira enriquecidos com nutrientes, mas sem a realização de uma fertilização adicional, pode levar, mesmo assim, a um desenvolvimento insatisfatório das plantas. (Gruda e Schnitzler, 1999).

Gruda e Schnitzler (1999) mencionam que o desenvolvimento de tomateiros num substrato 100% de madeira é comparável com o seu crescimento num substrato de turfa, isto se o substrato de madeira for impregnado com nitrogénio durante o processo de formação, ou quando se realizam fertilizações azotadas durante o seu desenvolvimento.

As principais desvantagens deste tipo de substrato são a reduzida capacidade de retenção de água, que aumenta à medida que a dimensão das suas partículas diminui, e a sua granulometria, quando são usados compostos grosseiros de

casca de árvores o contato entre as partículas do material e as sementes é reduzido o que dificulta, podendo até inibir, a germinação destas (Brito e Mourão, 2018).

## 2.2.4. Composto

A compostagem consiste num método de reciclagem (económico e seguro) de matéria orgânica e nutrientes, num processo de fabricação para produtos do solo, num meio de desinfecção para materiais contaminados por agentes patogénicos e numa estratégia de eliminação para resíduos problemáticos. Todo o processo é muito útil tendo em conta que modifica as características de materiais muitas vezes indesejados, dando origem a um novo material com mais funcionalidades, facilitando a sua utilização. O composto obtido vai possuir maior valor comercial do que as matérias que lhe deram origem (Stoffela e Kahn, 2005).

Este tipo de material já é utilizado em horticultura há vários anos, no entanto não em grandes quantidades. A sua utilização, todavia, tem vindo a aumentar uma vez que constitui uma boa alternativa para reduzir a utilização de turfa e a incidência de certas doenças, melhorar a retenção de água e aumentar a quantidade de matéria orgânica do substrato (Kahn e Stoffella, 2005). No entanto é necessário usar compostos de qualidade, sendo que a sua homogeneidade é um fator importante (Raviv, 2014).

### 2.2.4.1. Processo de compostagem

A compostagem consiste num processo de tratamento de resíduos com base na degradação aeróbia da matéria orgânica, realizada por microrganismos sob condições controladas, obtendo-se assim um material estável, higienizado e rico em nutrientes, que pode ser utilizado como fertilizante ou corretivo de solos. Este processo pode ser expresso através da seguinte equação química:



Desta forma é possível definir a compostagem resumidamente como a bio conversão de materiais biodegradáveis em dióxido de carbono, água, calor, composto e vários subprodutos gasosos (como o amoníaco -  $\text{NH}_3$ ) resultantes da decomposição, que se volatilizam do meio (Stoffela e Kahn, 2005).

Durante a compostagem existem diversos microrganismos com diferentes temperaturas ótimas de desenvolvimentos: microrganismos mesófilos que preferem temperaturas entre os 15 e os 45 °C; microrganismos termófilos cujas temperaturas

entre os 45 e os 70 °C são as mais adequadas. Desta forma estes microrganismos atuam em diferentes fases (Stoffela e Kahn, 2005).

O processo inicia-se com um ligeiro aumento de temperatura após o qual se verifica uma pequena descida seguida por um novo aumento até aos 60 °C aproximadamente. Após esta subida a temperatura mantém-se constante durante um curto período de tempo, em seguida começa a decrescer lentamente acabando por estabilizar à temperatura ambiente (Stoffela e Kahn, 2005).

É possível identificar quatro fases diferentes no processo de compostagem, segundo Stoffela e Kahn (2005):

- Fase mesófila em que predominam as bactérias mesófilas. Nesta fase há uma intensa atividade destes microrganismos com consequente libertação de energia, o que leva a um aumento da temperatura do composto (rápido aumento até aos 40 °C durante as primeiras 24 horas). Quando a temperatura ultrapassa os 45 °C as condições deixam de ser favoráveis para as bactérias mesófilas, iniciando-se uma nova fase;
- Fase termófila onde predominam bactérias termófilas cuja atividade vai levar a um incremento de temperatura até aos 65-70 °C (pode demorar 2-3 dias a atingir estas temperaturas). Com o tempo as fontes nutritivas dos microrganismos vão-se esgotando o que resulta numa diminuição da atividade microbiana e a um decrescimento da temperatura (a temperatura pode manter-se durante 7 dias antes de começar a decrescer);
- Com a descida de temperatura atinge-se uma nova fase mesófila durante o período de arrefecimento. Quando as fontes nutritivas finalmente se esgotam a temperatura estabiliza segundo a temperatura ambiente e atinge-se a última fase da compostagem;
- Fase de maturação. A atividade microbiana é muito baixa e pode prolongar-se por alguns meses.

Para os produtores de composto a temperatura constitui uma forma de maximizar o coeficiente de decomposição e de favorecer a obtenção de um produto seguro, uma vez que permite a destruição de agentes patogénicos (é necessário encontrar um equilíbrio entre a redução dos patogénicos e a maximização da atividade biológica) (Stoffela e Kahn, 2005).

Como já sabemos, a população microbiana não se mantém constante ao longo de todo o processo (figura 3), no entanto as bactérias estão sempre presentes em grande

número (predominam as mesófilas ou termófilas, consoante a temperatura) e são as principais responsáveis pelo processo de degradação. Os actinomicetos (bactérias gram positivas com crescimento filamentosos) apresentam um papel muito importante na degradação dos compostos celulósicos, mas normalmente não estão presentes em quantidade consideráveis até que o processo de compostagem não tenha sido consolidado. Os fungos, presentes quase ao mesmo tempo que os actinomicetos, também têm um papel importante na degradação dos materiais, principalmente os fungos da podridão branca responsáveis pela degradação da lenhinha, resíduo orgânico mais resistente que normalmente é o último a ser degradado (Stoffela e Kahn, 2005).

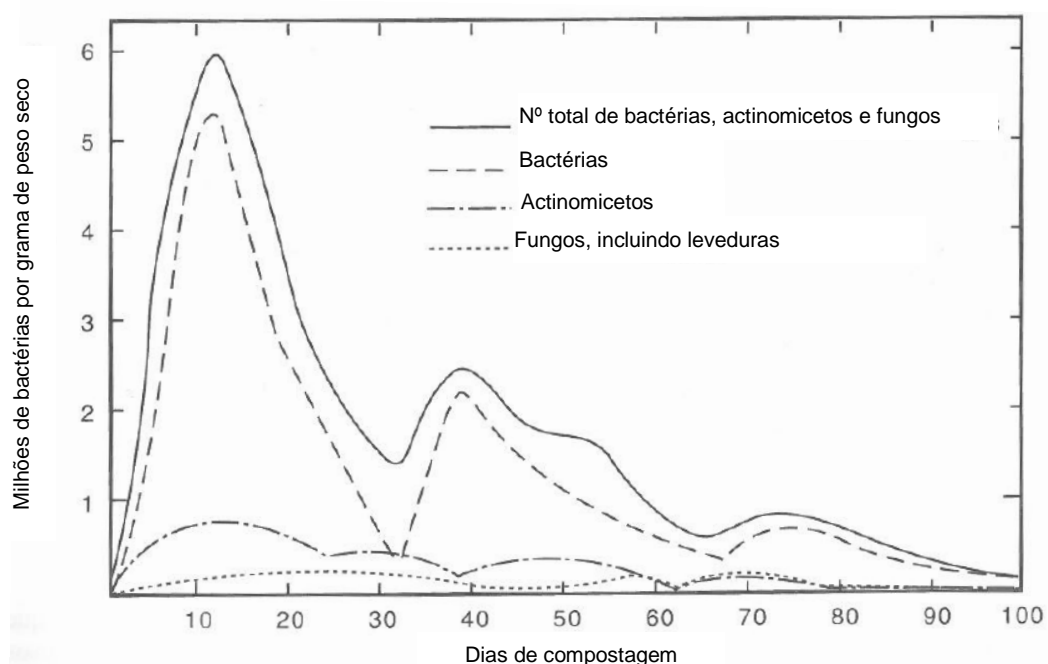


Figura 3: Flutuação da população microbiana no interior da pilha de compostagem (Stoffela e Kahn, 2005).

Um aspeto muito importante que permite as trocas comerciais de composto é a exigência que o processo de compostagem destrua o máximo de organismos patogénicos possível. É necessário ter noção que uma temperatura elevada durante um curto período de tempo pode ser tao eficaz como uma temperatura baixa durante muito tempo (Stoffela e Kahn, 2005).

Relativamente aos processos químicos que englobam a compostagem há muitos pormenores relevantes para que a compostagem seja bem-sucedida, tais como a razão

C/N, a razão C/P, a quantidade de metais pesados presentes no composto, entre outros (Stoffela e Kahn, 2005).

Uma razão C/N adequada é essencial para uma correta e eficiente compostagem, uma vez que o carbono proporciona uma fonte primária de energia e o azoto é imprescindível para o desenvolvimento da população microbiana. Caso a razão inicial seja demasiado elevada verifica-se um processo de compostagem mais lento, caso a razão final for elevada o composto deve ser rejeitado uma vez que pode ter um efeito negativo no desenvolvimento das plantas e germinação das sementes. No entanto o que é relevante é o C disponível e não o C total (Stoffela e Kahn, 2005).

A quantidade de fósforo presente no composto também é muito relevante uma vez que o fósforo é um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas. É necessária uma razão C/P adequada apesar de não possuir tanta relevância como a razão C/N. Ao longo do processo de compostagem a quantidade deste nutriente vai aumentando visto que não é perdido nem por lixiviação ou volatilização (Stoffela e Kahn, 2005).

Como já referido, a compostagem é essencialmente um processo oxidativo, consome oxigénio e liberta dióxido de carbono. Assim sendo, o controlo destes gases constitui um bom indicador de como todo o processo se está a desenvolver enquanto permite garantir um bom arejamento, não só com a finalidade de renovação do oxigénio, mas também com o objetivo de libertar dióxido de carbono. À medida que a temperatura sobe durante a compostagem o oxigénio vai ser consumido e a sua concentração vai diminuindo, ao mesmo tempo que a concentração de dióxido de carbono aumenta. (Stoffela e Kahn, 2005).

Para além dos processos químicos também é necessário considerar todos os processos físicos que ocorrem durante a compostagem de um material, como a humidade, o tamanho das partículas do material e a compactação deste (Stoffela e Kahn, 2005).

A água é essencial para a atividade metabólica dos microrganismos responsáveis pela maior parte da decomposição que ocorre durante a compostagem, uma vez que proporciona um meio para as reações bioquímicas e o transporte de nutrientes e organismos. Estes fatores tornam a humidade do material que se pretende compostar deveras relevante. Se for demasiado reduzida pode induzir o operador em erro, dando a entender que o processo de compostagem se encontra estável, no entanto se for demasiado elevada pode levar a perdas de nutrientes e patogénicos por lixiviação e ainda impede a chegada de oxigénio aos microrganismos (a água em excesso vai



interferir com o arejamento), o que conduz a um estado de anaerobiose (Stoffela e Kahn, 2005).

O tamanho das partículas do material, para além de afetar a retenção de humidade, também define a porosidade do composto. Quanto maiores as partículas, maior a porosidade, assim sendo com partículas mais reduzidas obtemos as características inversas. A decomposição aeróbica ocorre sob a superfície das partículas, quando se aumenta a superfície de contacto do material com o ar (pequenas partículas) é possível acelerar o processo de compostagem (Stoffela e Kahn, 2005).

Outro fator relevante que pode colocar em causa o correto arejamento da pilha de compostagem é a compactação do material. Uma compactação excessiva pode conduzir a problemas, uma vez que leva a uma redução do espaço para o ar livre o que, consequentemente, reduz a permeabilidade e aumenta a resistência ao fluxo de ar. (Stoffela e Kahn, 2005).

#### 2.2.4.2. Qualidade do composto

A qualidade do composto depende maioritariamente da planificação do processo de compostagem e da utilização que se pretende dar ao composto (Stoffela e Kahn, 2005), no entanto o produto final de uma compostagem deve ser fácil de manusear, com uma densidade aparente relativamente baixa e elevada porosidade (Raviv, 2014). No quadro 2 encontram-se apresentados os principais critérios de qualidade para um composto, segundo a autoridade alemã.

Quadro 2: Principais critérios de qualidade para um composto ser aceite na formulação de substratos, de acordo com a autoridade alemã que assegura a qualidade dos compostos (RAL) (Schmilewski, 2008).

Qualidade	Valores/Gama de valores	
	Tipo 1	Tipo 2
Quantidade max. permitida no meio de cultivo	40% (v/v)	20% (v/v)
Salinidade	≤2,5 g/L	≤5,0 g/L
Azoto	<300 mg/L	<600 mg/L
Fósforo	<1200 mg/L	<2400 mg/L
Potássio	<2000 mg/L	<4000 mg/L
Cloretos	<500 mg/L	<1000 mg/L
Sódio	<250 mg/L	<500 mg/L
Carbonatos	<10% (CaCO <sub>3</sub> ) da matéria seca	
Matéria orgânica	>15% (m/m) da matéria seca	

De uma forma geral, os problemas mais frequentemente referidos para o uso de compostos relacionam-se com a consistência, armazenamento, imobilização do azoto e a necessidade de métodos padrão para definir a sua qualidade. A sua heterogeneidade é um problema para a generalização do seu emprego, obrigando à definição de materiais e tecnologia a usar com o objetivo de obter compostos de qualidade uniforme (Brito e Mourão, 2018). No entanto, pode-se considerar que o maior indicador da qualidade de um composto é a resposta das plantas a este durante o seu desenvolvimento (Stoffela e Kahn, 2005).

O pH e a salinidade ganham especial importância quando se utilizam grandes quantidades de composto numa mistura de substrato (Stoffela e Kahn, 2005), uma vez que normalmente assumem valores inadequados para proporcionar o correto desenvolvimento das plantas (Schmilewski, 2008). Ostos *et al.* (2008) consideram a salinidade como o critério mais importante, que limita o potencial de uso de um composto na propagação de plantas. Na maioria dos casos a salinidade excessiva pode ser lixiviada até um nível aceitável, antes do composto ser utilizado, no entanto é necessário tomar as devidas precauções de forma a evitar poluição ambiental pelo lixiviado (Raviv, 2014). Ao se misturar composto com outros materiais estes devem sempre possuir características mais adequadas, de forma a diminuir os riscos (Schmilewski, 2008).

Existem normas estabelecidas para a qualidade dos compostos que restringem as concentrações de metais pesados, como arsénio, cádmio, cromo, cobalto, cobre, mercúrio, molibdénio, níquel e zinco, nos compostos. A verdadeira quantidade de metais pesados num composto vai aumentando durante a compostagem, mas o que é relevante para a valorização do composto está mais relacionado com o tipo químico do metal pesado do que com a sua presença (a forma química determina a disponibilidade do metal para ser absorvido pelas plantas e para ser lixiviado com o fluxo de água). Desta forma alguns compostos podem possuir teores de metais pesados superiores aos referidos nas normas e apenas só uma pequena percentagem desses metais estarem disponíveis para as plantas e constituir um risco para a saúde (Stoffela e Kahn, 2005).

A acumulação de metais pesados consiste num problema de maior gravidade quando o composto é utilizado para o cultivo de produtos para consumo humano ou animal, no caso de culturas ornamentais não assume tanta importância (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005), uma vez que os constituintes tóxicos que as plantas estão passíveis de absorver não serão ingeridos por nenhum ser vivo.

Em Portugal, o Decreto-Lei 103/2015 de 15 de junho, define critérios de qualidade para compostos utilizados como corretivos orgânicos aplicados ao solo (quadro 3). No entanto, não existem critérios definidos para a sua utilização como substrato.

Quadro 3: Valores máximos admissíveis para os teores totais de metais pesados na matéria fertilizante com componentes orgânicos, por classe, miligramas por quilogramas de matéria seca (D.L. 103/2015).

Parâmetro	Matéria fertilizante			
	Classe I	Classe II	Classe II A	Classe III
Cádmio (Cd)	0,7	1,5	3	5
Chumbo (Pb)	100	150	300	500
Cobre (Cu)	100	200	400	600
Crómio (Cr)	100	150	300	400
Mercúrio (Hg)	0,7	1,5	3	5
Níquel (Ni)	50	100	200	200
Zinco (Zn)	200	500	1000	1500

#### 2.2.4.3. Substratos com composto

Segundo Tyler *et al.* (1993), os materiais orgânicos compostados têm o potencial de melhorar consideravelmente as propriedades físicas e químicas dos substratos. Vários destes materiais, como lamas de ETAR (Ribeiro *et al.*, 2009; Costa, 2018; Ostos *et al.*, 2008), resíduos sólidos urbanos (Brito e Mourão, 2018), resíduos animais (Tyler *et al.*, 1993; Ribeiro *et al.*, 2007), resíduos florestais (Beozzi *et al.*, 2017), entre outros, foram analisados numa perspetiva de obter misturas com melhores características.

Ribeiro *et al.* (2007) obtiveram resultados promissores com um composto à base de resíduos florestais e fração sólida de chorume de porco. Os dados recolhidos demonstram que o composto não afetou a percentagem total de emergência das sementes, mas contribuiu para acelerar a germinação.

Um fator relevante da adição de composto é o seu efeito na porosidade. A macroporosidade do substrato decresce, mas a sua microporosidade será superior, quando em comparação com materiais como casca de pinheiro e fibra de coco. É um facto particularmente interessante, uma vez que aumentos da microporosidade melhoram a capacidade de retenção de água e diminuem a drenagem, podendo assim melhorar as características de substratos pobres nestes aspetos (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005). É necessário ter em atenção que, dependendo do tipo de composto e de

substrato utilizados, a disponibilidade de água pode ainda permanecer constante ou até diminuir (Tyler *et al.*, 1993).

O composto pode também providenciar à zona radicular uma capacidade supressora de um vasto espectro de patógenos e substituir o uso de uma quantidade significativa de pesticidas, tendo em conta que detem propriedades biológicas vantajosas (Raviv, 2014; Brito e Mourão, 2018). Raviv (2014) refere que o uso de composto no substrato suprime doenças transmissíveis pelo solo, inclusive fungos, bactérias e nematodes. No entanto, para obter estes resultados é necessário utilizar no mínimo 10 a 20% de composto no volume total do contentor (Raviv, 2014).

Os produtos resultantes da compostagem de resíduos sólidos urbanos têm sido frequentemente analisados como componentes de misturas com turfa e cascas de pinheiro, designadamente para a produção de substratos para utilização em vasos. Entre os problemas que têm limitado a utilização de elevadas proporções de compostos de RSU nestas misturas, destacam-se os elevados valores de condutividade elétrica, pH e metais pesados, a baixa porosidade e as grandes variações nas propriedades físico-químicas destes materiais. No entanto tem sido sugerida a possibilidade deste tipo de composto substituir a turfa nos substratos até concentrações de 30% e mesmo, em determinadas situações, até 50% em volume (RBrito e Mourão, 2018).

Brito e Mourão (2018) referem que a percentagem de composto a utilizar numa mistura varia consoante as suas características, enquanto que compostos com elevada CE não deverão ser incorporados em mais de 10% (v/v), outros, com baixa CE, poderão constituir o substrato só por si.

Hernández-Apaolaza *et al.* (2005) consideram que misturas com 30% de composto de lamas de ETAR são as mais convenientes para se usar como substrato, de um ponto de vista ambiental e económico. Menciona ainda que, apesar de ser possível obter melhores resultados com misturas de 30% do composto e 70% de fibra de coco, a escolha mais acertada são misturas com a mesma percentagem de casca de pinheiro em vez de fibra de coco, uma vez que os resultados não são consideravelmente díspares e a casca de pinheiro é um recurso mais económico.

No entanto, o fator mais aliciante da utilização de composto é que este funciona como um fertilizante de libertação lenta, substituindo assim parcialmente o uso tradicional de fertilizantes (Tyler *et al.*, 1993; Ribeiro *et al.*, 2009; Beozzi *et al.*, 2017). Raviv (2014) menciona que esta capacidade de libertação de nutrientes com o tempo pode economizar quantidades significantes de fertilizante e até compensar por erros de aplicação e distribuições irregulares de nutrientes. Segundo Tyler *et al.* (1993) ao

misturar casca de pinheiro com um composto à base de resíduos da produção de perus é possível fornecer, de forma adequada, todos os macronutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas durante aproximadamente 102 dias, excetuando potássio, o qual passados 78 dias de ensaio apresentava uma concentração insuficiente.

Ribeiro *et al.* (2009) obtiveram resultados que sugerem que a substituição de 50% em volume dos substratos de turfa por composto de lamas de ETAR, para além de reduzir o consumo de turfa, permite reduzir em metade a quantidade de macronutrientes que é necessário aplicar na adubação basal e suprime a necessidade de adicionar micronutrientes por completo. Desta forma é possível reduzir o custo de produção de plântulas.

Havendo melhorias na qualidade e disponibilidade deste material, e tendo em conta a continua pressão para reduzir a exploração de turfa, é de esperar que ocorra um forte incremento na utilização destes compostos na formulação de substratos para as plantas (Brito e Mourão, 2018). Segundo Raviv (2014), através da diluição de turfa com materiais renováveis, dentro dos quais se encontra o composto, é expectável que se estenda a vida útil dos atuais recursos de turfa. No entanto, é necessário salientar que a vida útil de um composto, assim como das suas propriedades benéficas, é relativamente curta, quando comparado com a turfa (Raviv, 2014).

### 3. Material e métodos

#### 3.1. Substratos

##### 3.1.1 Materiais utilizados na formulação dos substratos

Os substratos utilizados neste ensaio foram formulados a partir de 4 materiais distintos:

a) Composto produzido em Portugal, pela Câmara Municipal da Maia, obtido através de um processo de compostagem com 50% de lamas de ETAR e 50% casca de pinheiro, na Estação de Compostagem de Lamas da ETAR da Parada (Parada, Maia). Trata-se de um composto com o nome comercial NATURANAT, de classe IIA, de acordo com o Decreto-lei 103/2015 de 15 de junho.

b) Turfa loira, ligeiramente decomposta (H2-H5 da escala de Von post) de marca Hansa Torf (Floragard Co., Alemanha). Para se adequar ao fim pretendido, a turfa foi crivada através de um crivo de malha de 5 mm de forma a se obter uma fração mais fina, com maior capacidade de retenção de água para consequentemente melhorar as características dos substratos com composto e casca de pinheiro (possuem uma textura mais grosseira). Tendo em conta o baixo pH da turfa foi necessário ainda fazer uma calagem. Uma vez que o calcário dolomítico possui magnésio, o qual em excesso pode trazer problemas de antagonismo com o potássio, optou-se por uma mistura de calcário calcítico (4 g/L) e dolomítico (4 g/L) para corrigir o pH.

c) Fibra de coco, lavada com água para redução da salinidade, produzida pela empresa Sivanthi Joe (Tuticurin, Tamil Nadu, Índia). A fibra é disponibilizada em briquetes prensados de 20 x 10 x 5 cm e, cada briquete, após humedecimento e expansão, origina um volume final de 7,8 L.

d) Casca de pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) de fração 1-8 mm, submetida a tratamento fitossanitário (tratamento térmico), para eliminação do nemátodo da madeira do pinheiro (*Bursaphelenchus xylophilus*), adquirida a um Operador Económico registado na DGAV e com as seguintes características: humidade inferior a 45%, granulometria (3% de 8-5 mm; 52% de 5-2 mm; 25% de 2-1 mm e 20% <1 mm) e 0% de teor de inertes.

### 3.1.2. Preparação das diferentes modalidades

No total foram formulados 4 substratos, a partir de misturas dos diferentes materiais descritos anteriormente. Usaram-se, ainda, 3 modalidades controle, constituídas por 100% de turfa, que diferiram entre si apenas na fertilização aplicada. A proporção de materiais que constituem cada modalidade encontra-se descrita no quadro 4.

Quadro 4: Especificação das diferentes modalidades utilizadas no ensaio.

Modalidade	Turfa	Composto	Outro	Adubação NPK (g/L)
<b>A</b>	25%	50%	25% casca de pinheiro	3
<b>B</b>	25%	75%	0%	3
<b>C</b>	50%	50%	0%	3
<b>D</b>	25%	50%	25% fibra de coco	3
<b>E</b>	100%	0%	Sem adição de micronutrientes	3
<b>F</b>	100%	0%	Com adição de micronutrientes	3
<b>G</b>	100%	0%	Com adição de micronutrientes	4

Na fertilização optou-se por um adubo composto N-P-K com magnésio e enxofre, de libertação controlada, da marca Agromaster (15-8-16 + 5MgO + 25SO<sub>3</sub>), com uma longevidade de 5 a 6 meses. Para as modalidades F e G desenvolveu-se em laboratório uma solução de micronutrientes, tendo em conta as indicações da Norma Europeia EN 16086-1 (CEN, 2011b), de modo a veicular, por litro de substrato, as quantidades referidas no quadro 5.

Quadro 5: Quantidade de nutrientes (μmol/L de substrato) e quantidade de reagentes químicos laboratoriais (mg/L substrato) aplicado aos substratos F e G.

Substância	Formula química	μmol/L	mg/L
<b>DTPA de ferro</b>	Fe-DTPA (7% Fe)	15	11,97
<b>Sulfato de manganês</b>	MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	8	1,35
<b>Sulfato de zinco</b>	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	4	1,15
<b>Borax</b>	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O	6,26	2,39
<b>Sulfato de cobre</b>	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,75	0,19
<b>Molibdato de sódio</b>	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,5	0,12

No total foram preparados 10 L de cada mistura. Após a adição do fertilizante as misturas foram minuciosamente revolvidas de forma a ficarem o mais homogêneas possível.

## 3.2. Caracterização analítica dos substratos

### 3.2.1. Caracterização física

Para proceder à caracterização física dos substratos (análise feita em amostras dos substratos que não foram utilizadas para sementeira), inicialmente foi determinada a densidade aparente dos materiais e das misturas, segundo a Norma Europeia EN 13040 (CEN, 1999a). Após este processo recorreu-se a uma adaptação da Norma Europeia EN 13041 (CEN, 2011a) e da metodologia descrita por Verdonck e Gabriels (1992), a qual permite efetuar o cálculo da água facilmente disponível, água de reserva, água dificilmente disponível, porosidade total e contratilidade.

Utilizaram-se cilindros de 100 cm<sup>3</sup>, preenchidos com os 4 substratos (A, B, C e D) e os 4 materiais que lhes deram origem (composto, fibra de coco, turfa e casca de pinheiro), que foram colocados numa “caixa de areia” (Eijkelkamp Soil & Water, Giesbeek, Holanda) e sujeitos a três diferentes suções durante 48 horas (10 cm, 50 cm e 100 cm de altura de coluna de água). No final de cada sucção os cilindros contendo os substratos foram pesados. Após a sucção a 100 cm de coluna de água e pesagem, os cilindros contendo os substratos foram colocados a secar a 105 °C, durante 48 horas. Após esse período, os cilindros foram novamente pesados e determinou-se o volume do substrato no interior de cada cilindro. De acordo com as definições contantes na Norma Europeia EN 13041 (CEN, 2011a) e em Verdonck e Gabriels (1992), determinou-se: a porosidade total, o arejamento a pF1 (10 cm de coluna de água), a água facilmente disponível, a água de reserva, a água dificilmente disponível e a contratilidade dos substratos.

De forma a concluir esta metodologia, ainda foi necessário determinar a percentagem de matéria orgânica e a percentagem de cinzas. Para obter estes valores pesaram-se os diversos substratos húmidos, e após secagem a 105 °C numa estufa, determinou-se, usando uma mufla, a perda de massa a 500°C (temperatura a qual leva à destruição da matéria orgânica presente na amostra, dando origem a cinzas). Recorreu-se às fórmulas seguidamente indicadas:

$$\% \text{ Matéria Orgânica} = \left( \frac{(Tara + \text{Peso Seco}) - (Tara + \text{Cinzas})}{(Tara + \text{Peso seco}) - Tara} \right) \cdot 100$$

$$\% \text{ de Cinza} = \left( \frac{(Tara + \text{Cinza}) - Tara}{(Tara + \text{Peso seco}) - Tara} \right) \cdot 100$$



### 3.2.2. Caracterização química

Relativamente à análise das propriedades químicas, iniciou-se com a obtenção dos valores de pH e condutividade elétrica, determinados no extrato aquoso 1:5 em volume (40 ml de substrato para 200 ml de água destilada), segundo as Normas Europeias EN 13037 (CEN, 1999b) e EN 13038 (CEN, 1999c), respetivamente.

De acordo com a Norma Europeia EN 13652 (CEN, 2001b), as suspensões obtidas no extrato aquoso 1:5, em volume, foram filtradas de forma a determinar os elementos disponíveis para as plantas ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , N mineral, K, P, Na, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B).

O azoto sob a forma de  $\text{NO}_3^-$  foi quantificado por espectrofotometria de absorção molecular, utilizando o método de sulfanilamida (Houba, *et al.*, 1989), num autoanalisador de fluxo segmentado de marca Skalar, modelo SAN<sub>plus</sub> System (Skalar Analytical B.V., Breda, Holanda); o azoto sob a forma de  $\text{NH}_4^+$  foi quantificado por espectrofotometria de absorção molecular, utilizando o método de Berthold (Houba, *et al.*, 1989), num autoanalisador de fluxo segmentado de marca Skalar, modelo SAN<sub>plus</sub> System (Skalar Analytical B.V., Breda, Holanda); os restantes elementos foram quantificados por Espectrofotometria de Emissão Ótica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), num ICP-OES de marca Unicam (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachuset, Estados Unidos);

Procedeu-se à quantificação dos cloretos presentes nas diferentes modalidades e nos materiais usados para realizar as misturas através de titulações com nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) como titulante e cromato de potássio a 5% como indicador, segundo o método Mohr.

No caso dos materiais que foram utilizados na formulação dos substratos (composto, fibra de coco, turfa e casca de pinheiro), foi ainda determinado o teor de azoto Kjeldahl e teor total dos seguintes elementos minerais: Na, K, Ca, Mg, P, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Mo.

Para a quantificação do azoto recorreu-se ao método de Kjeldahl (Horneck e Miller, 1998). Iniciou-se o processo com a pesagem de 0,25-0,30 g para tubos de digestão de Kjeldahl, adição de 4 mL de uma solução de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a 98% e selénio (Se, como catalisador) e digestão a 350 °C num bloco de digestão até obtenção de um digerido incolor. Após a digestão adicionou-se água destilada até aos 50 mL, sendo esta solução analisada, por espectrofotometria de absorção molecular, utilizando o método de Berthold (Houba, *et al.*, 1989), num autoanalisador de fluxo

segmentado de marca Skalar, modelo SAN<sub>plus</sub> System (Skalar Analytical B.V., Breda, Holanda).

O teor total dos restantes elementos minerais (Na, K, Ca, Mg, P, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Mo) foi determinado de acordo com a Norma Europeia EN 13650 (CEN, 2001a) e com quantificação por ICP-OES. Resumidamente, pesou-se 0,25-0,30 g de amostra que foi digerida com 9 mL de ácido clorídrico (HCl) a 37% e 3 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) a 65%, a 105 °C, durante 120 minutos. Após a digestão, adicionou-se água destilada até ao volume final de 50 mL, sendo esta solução analisada por ICP-EOS.

### 3.2.3. Toxicidade

A toxicidade dos substratos e dos materiais que lhes deram origem foi avaliada segundo a Norma Europeia EN 16086-2 (*Soil improvers and growing media – Determination of plant response – Part 2: Petri dish test using cress*) (CEN, 2011c), num ensaio laboratorial, em placas de Petri, usando agrião-de-jardim (*Lepidium sativum*).

Resumidamente, para proceder ao ensaio, recorreu-se a sementes de agrião-de-jardim (*Lepidium sativum*) com ≥95% de capacidade de germinação (CEN, 2011c) possibilitando analisar a percentagem de germinação e o crescimento radicular após a germinação, desta forma é exequível a identificação de eventuais inibições devido a características impróprias do substrato como presença de substâncias tóxicas ou elevada salinidade.

Tendo em atenção os requerimentos da norma, foram analisadas as diferentes misturas (A, B, C e D) e os materiais originários (turfa, fibra de coco, casca de pinheiro e composto). Realizando-se 3 repetições, foram necessárias no total 24 placas de Petri. Após a preparação do volume de substrato necessário para esta análise, as placas de Petri foram devidamente preenchidas e identificadas, processo após o qual foram semeadas 10 sementes por placa. Após a sementeira, posicionaram-se as placas na vertical, com um ângulo de 70-80° com o plano horizontal, numa câmara de incubação escura, a 25 °C, durante 72 horas.

Passados os 3 dias, avaliou-se o número de sementes germinadas e o comprimento de raiz de cada planta. Com os dados recolhidos, determinou-se o índice de germinação e o índice de comprimento das raízes, os quais permitiram obter o índice de vitalidade de Munoo – Liisa (MLV), com recurso à seguinte expressão (CEN, 2011c):

$$MLV (\%) = \left( \frac{(GRs1.RLs1) + (GRs2.RLs2) + (GRs3.RLs3)}{3.(GRc.RLc)} \right) . 100$$

Sendo:

*GRs1*, *GRs2* e *GRs3*: taxas de germinação, em % das 3 réplicas;

*RLs1*, *RLs2*, *RLs3*: comprimento médio das raízes, em % das 3 réplicas;

*GRc*: taxa de germinação, em % das 3 réplicas de controlo;

*RLc*: comprimento médio das raízes, em % das 3 réplicas de controlo.

### 3.3. Instalação e condução do ensaio

A instalação do ensaio decorreu no Horto de Química Agrícola Boaventura de Azevedo do Instituto Superior de Agronomia, recorrendo-se a tabuleiros próprios para espécies florestais.

No caso do pinheiro manso (*Pinus pinea*) e pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), foram utilizados contentores com 28 alvéolos (4x7), com um volume de 210 cm<sup>3</sup> por alvéolo. Cada tabuleiro (com 28 alvéolos), foi dividido em 7 “talhões” (cada um com 4 alvéolos) que foram preenchidos com os 7 substratos em estudo. Cada tabuleiro foi replicado 4 vezes, para cada espécie, tendo-se utilizado um total de 8 tabuleiros e 224 alvéolos.

No caso do eucalipto (*Eucalyptus globulus*) foram usados contentores com 40 alvéolos, com um volume de 120 cm<sup>3</sup> por alvéolo, tendo sido utilizados apenas 35 alvéolos úteis (5X7) de cada tabuleiro. Tal como no caso dos pinheiros, cada tabuleiro (com 35 alvéolos úteis), foi dividido em 7 “talhões” (cada um com 5 alvéolos) que foram preenchidos com os 7 substratos em estudo. Cada tabuleiro foi replicado 4 vezes, num total de 140 alvéolos.

As modalidades foram colocadas aleatoriamente nos contentores, como é possível observar na figura 4.



Figura 4: Contentores para os pinheiros preenchidos com as diferentes modalidades, de forma aleatória.

A sementeira foi realizada no dia 9 de março, tendo sido as sementes previamente demolhadas durante 24 horas. Os substratos foram ainda pulverizados com água antes da sementeira, de forma a melhorar o contacto entre as sementes e o substrato. No caso do pinheiro manso colocou-se 2 sementes por alvéolo e para o pinheiro bravo e eucalipto optou-se por colocar 3 sementes por alvéolo. As sementes foram ainda cobertas com vermiculite e os substratos foram pulverizados com água de forma homogénea, procedimento após o qual foram revestidos com uma manga plástica (figura 5), com o propósito de favorecer a germinação.



Figura 5: Contentores após serem cobertos com o filme plástico (A: Eucalipto; B: Pinheiros).

Quando as primeiras plântulas começaram a emergir (20 março para o eucalipto, 25 de março para o pinheiro manso e 2 de abril no caso do pinheiro bravo; figura 6) removeu-se o plástico e iniciou-se uma contabilização semanal das plântulas emergidas.



Figura 6: Primeiras plântulas emergidas de eucalipto e pinheiro manso, respectivamente.

Tendo em conta que se possuía mais do que uma plântula por alvéolo, ainda se procedeu ao acerto das plantas, passando assim a existir apenas uma por alvéolo (a mais vigorosa).

Assim que as plantas atingiram um tamanho considerável foram transportadas para o Viveiro Florestal do Instituto Superior de Agronomia (figura 7).

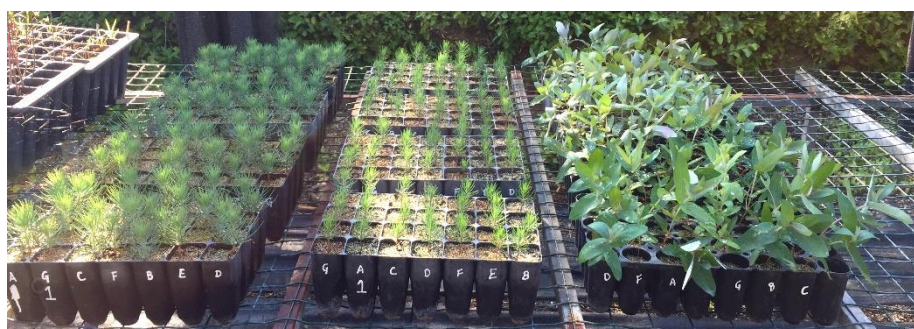


Figura 7: Plantas após terem sido transferidas para o viveiro florestal do Instituto Superior de Agronomia.

### 3.4. Avaliação do crescimento das plantas

#### 3.4.1. Eucalipto

Quando os eucaliptos atingiram uma altura passível de comercialização (9 de julho) foram efetuadas diversas análises:

- Altura da planta;
- Diâmetro do colo;
- Leitura SPAD, realizando a medição nas folhas mais novas totalmente expandidas;



- Área foliar, com recurso ao software ImageJ;
- Peso fresco e seco dos caules e folhas;

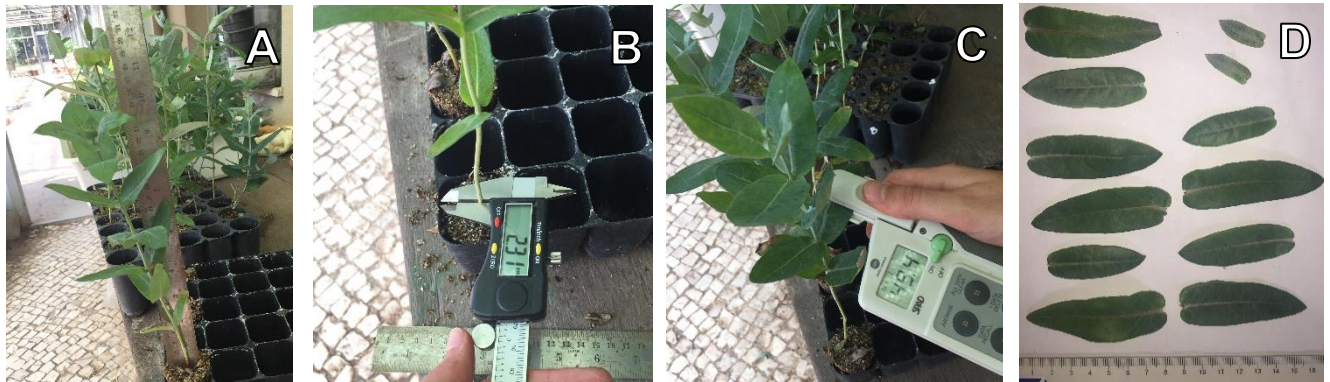


Figura 8: medições efetuadas nas plantas de eucalipto (A: Altura da planta; B: Diâmetro do colo; C: Leitura SPAD; D: imagem utilizada no software ImageJ para medir a área foliar).

- Análise visual das raízes, tendo sido estabelecida uma escala de 1 a 5, como é possível observar na figura 9.



Figura 9: Escala utilizada na análise visual das raízes dos eucaliptos.

Todas estas análises foram feitas por planta individualmente.

### 3.4.2. Pinheiro manso e pinheiro bravo

Os pinheiros demoraram mais tempo a desenvolver-se do que o eucalipto, tendo-se começado a analisar apenas no dia 20 de agosto. Os parâmetros analisados foram os mesmos que para o eucalipto, não sendo possível, no entanto, realizar a leitura SPAD e o cálculo da área foliar (devido ao tipo de folha destas espécies).

Foram recolhidos os dados referentes à altura da planta, diâmetro do colo, peso fresco da planta, peso seco da planta e análise visual das raízes por planta, individualmente.

### 3.5. Análise do eucalipto em laboratório

As plantas, após secas a 65 °C durante 48 horas, foram moídas, de forma a analisar em laboratório o azoto e os restantes elementos minerais presentes.

Como na análise aos substratos, no material vegetal o azoto foi quantificado pelo método Kjeldahl (Horneck e Miller, 1998) e os restantes elementos minerais foram determinados por uma metodologia adaptada da Norma Europeia EN 13650 (CEN, 2001a) e quantificados por ICP-EOS. A metodologia já se encontra descrita na caracterização química dos substratos.

### 3.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram sujeitos a uma análise de variância (ANOVA) com comparação de médias pelo método da diferença mínima significativa (LSD na sigla em inglês) através do programa informático Statistix 9.

## **4. Resultados e discussão**

### **4.1. Características dos substratos**

#### **4.1.1. Propriedades físicas**

No quadro 6 é possível constatar que todos os valores de densidade aparente se encontram abaixo do limite máximo mencionado por Abad *et al.* (2001) de 400 g/dm<sup>3</sup>. Houve um incremento da densidade aparente com o aumento da percentagem de composto no substrato (resultados coerentes com Hernández-Apaolaza *et al.* (2005)), tendo sido o próprio composto a obter o valor mais elevado, seguido pela modalidade B (única com 75% de composto). Quando a densidade aparente aumenta a macroporosidade diminui, sendo que as raízes se encontram mais limitadas, havendo tendência para se verificar um menor alongamento destas (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005). O composto é de facto o meio com menor porosidade do grupo, consequentemente quando misturado com os restantes materiais leva a uma diminuição da porosidade total, com consequente aumento da densidade aparente. Verdonck e Gabriels (1992), referem que a porosidade total de um substrato deve ser superior a 85%, sendo o composto o material com menor valor (85,7%) no entanto ainda adequado.

A turfa foi o material que possuiu maior contratilidade (39,2%) e o composto o menor (17,3%), é de salientar que a adição de composto às misturas reduz a sua contratilidade (quadro 4), resultados coerentes com os valores de porosidade total obtidos (tendo em consideração que a contratilidade está relacionada com a redução do volume de amostra aquando a sua desidratação).



Quadro 6: Massa volúmica aparente, porosidade total e contratilidade dos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e dos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).

Substrato	Densidade aparente (g/dm <sup>3</sup> )	Porosidade total (%, v/v)	Contratilidade (%)
A	195,7 <sub>c</sub>	87,9 <sub>e</sub>	21,7 <sub>d</sub>
B	212,5 <sub>b</sub>	87,1 <sub>f</sub>	23,5 <sub>d</sub>
C	179,6 <sub>d</sub>	89,0 <sub>d</sub>	28,0 <sub>bc</sub>
D	176,7 <sub>d</sub>	89,3 <sub>d</sub>	24,6 <sub>cd</sub>
T	99,6 <sub>f</sub>	93,9 <sub>b</sub>	39,2 <sub>a</sub>
CO	235,5 <sub>a</sub>	85,7 <sub>g</sub>	17,3 <sub>e</sub>
CP	141,2 <sub>e</sub>	90,9 <sub>c</sub>	20,5 <sub>de</sub>
FC	95,5 <sub>f</sub>	94,4 <sub>a</sub>	29,2 <sub>b</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

No quadro 7 encontram-se os valores referentes à retenção de água. A turfa apresentou maior capacidade de retenção a pF1, tendo sido os valores mais altos a pF1,7 e pF2 obtido pelo composto. A casca de pinheiro foi o material que apresenta menor capacidade de retenção de água, tanto a pF1 como a pF1,7 e pF2. Constata-se, desta forma, que o composto, quando misturado com materiais com menor capacidade de retenção de água, melhora esta propriedade (visível nos valores obtidos para a modalidade A, a qual possui uma mistura de composto, turfa e casca de pinheiro), uma vez que a adição de composto leva a um aumento da água dificilmente disponível (representada em pF2).

Quadro 7: Retenção de água a pF1; pF1,7 e pF2 dos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e dos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).

Substrato	Retenção de água (% v/v)		
	pF1	pF1,7	pF2
A	54,4 <sub>d</sub>	41,4 <sub>d</sub>	37,8 <sub>d</sub>
B	56,2 <sub>d</sub>	44,2 <sub>b</sub>	41,4 <sub>b</sub>
C	66,1 <sub>c</sub>	45,1 <sub>b</sub>	39,8 <sub>c</sub>
D	64,5 <sub>c</sub>	44,9 <sub>b</sub>	40,0 <sub>c</sub>
T	82,5 <sub>a</sub>	46,2 <sub>a</sub>	38,2 <sub>d</sub>
CO	50,5 <sub>e</sub>	46,3 <sub>a</sub>	45,1 <sub>a</sub>
CP	31,4 <sub>f</sub>	27,1 <sub>e</sub>	25,8 <sub>f</sub>
FC	77,8 <sub>b</sub>	42,9 <sub>c</sub>	35,2 <sub>e</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

Relativamente ao arejamento a pF1 (quadro 8) a turfa e a fibra de coco apresentaram os valores mais baixos, enquanto que a casca de pinheiro obteve o valor mais alto, seguida pelo composto. Tendo em conta que Abad *et al.* (2001) recomendam valores na ordem de 20 a 30% para substratos, a adição de composto nos materiais com baixo arejamento possibilitou uma melhoria dos resultados, constatada nas modalidades D e C, as quais apresentaram valores aceitáveis de arejamento devido aos 50% de composto na sua composição.

Comparativamente, na água disponível para as plantas (quadro 8), os valores mais elevados foram obtidos na turfa e fibra de coco e os mais baixos na casca de pinheiro e composto. Ao se adicionar composto às misturas diminui-se a água disponível para as plantas de uma forma geral, com um consequente aumento da salinidade (valores representados no quadro 9). Considera-se que a água facilmente disponível deve estar entre 20 e os 30% e a água de reserva entre 4 e 10% (De Boodt e Verdonck, 1972; Abad *et al.*, 2001), sendo as modalidades C e D as únicas que se enquadram nestes padrões. Abad *et al.* (1989) ainda mencionam que a água disponível deve encontrar-se dentro da gama 24-40 (% v/v), tendo sido os resultados de uma forma geral consideravelmente baixos, excetuando as modalidades C e D, isto deve-se ao fato de a modalidade C ser constituída por 50% de turfa e a modalidade D possuir 25% de turfa e 25% de fibra de coco, materiais com grande capacidade de retenção de água. É necessário ter em consideração que o composto possui elevada microporosidade (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005), isto significa que tem uma grande capacidade de retenção a uma tensão superior a 100 cm de coluna de água (pF2), água a qual que

não se encontra facilmente disponível para as plantas (Ribeiro *et al.*, 2009), no entanto este fator reduz perdas por drenagem (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005).

É de salientar que não parecem existir diferenças físicas entre os efeitos da fibra de coco e da turfa na capacidade de retenção de água. Ao contrário da fibra de coco e turfa, a casca de pinheiro leva a uma redução da capacidade de retenção de água, aliás a sua capacidade de retenção de água é idêntica à do composto.

Quadro 8: Arejamento a pF1, água facilmente disponível, água de reserva e água disponível dos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e dos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).

Substrato	Arejamento a pF1 (%, v/v)	Água Facilmente Disponível (%, v/v)	Água de Reserva (%, v/v)	Água Disponível (%, v/v)
A	33,49 <sub>b</sub>	13,07 <sub>e</sub>	3,51 <sub>e</sub>	16,57 <sub>e</sub>
B	30,87 <sub>c</sub>	12,02 <sub>f</sub>	2,82 <sub>f</sub>	14,84 <sub>f</sub>
C	22,92 <sub>d</sub>	21,00 <sub>c</sub>	5,32	26,31 <sub>c</sub>
D	24,76 <sub>d</sub>	19,63 <sub>d</sub>	4,90 <sub>d</sub>	24,53 <sub>d</sub>
T	11,34 <sub>f</sub>	36,28 <sub>a</sub>	7,99 <sub>a</sub>	44,27 <sub>a</sub>
CO	35,18 <sub>b</sub>	4,15 <sub>g</sub>	1,22 <sub>g</sub>	5,37 <sub>g</sub>
CP	59,55 <sub>a</sub>	4,28 <sub>g</sub>	1,29 <sub>g</sub>	5,57 <sub>g</sub>
FC	16,55 <sub>e</sub>	34,92 <sub>b</sub>	7,73 <sub>b</sub>	42,65 <sub>b</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

#### 4.1.2. Propriedades químicas

De uma forma geral o pH dos substratos foi adequado (os valores encontram-se dentro da gama 5,2-7,0 estabelecida por Herrera *et al.* (2008)), tendo sido necessário realizar a correção da turfa, como referido anteriormente, de forma a obter o valor indicado no quadro 9.

Relativamente à condutividade elétrica (quadro 9) os valores mais baixos obtidos foram da turfa e casca de pinheiro (0,038 mS/cm e 0,024 mS/cm, respetivamente), em contraste com o valor do composto (0,854 mS/cm), o qual foi o mais elevado. Materiais como cascas compostadas geralmente contribuem pouco com sais solúveis para o substrato, assim como a fibra de coco, desta forma o composto é o maior responsável pelos valores de condutividade elétrica das modalidades (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005). Valores de condutividade elétrica baixos são um indicador da falta de nutrientes no substrato, no entanto valores excessivos levam a problemas de salinidade (Moldes *et al.*, 2007). Das quatro modalidades com composto apenas a B ultrapassou a gama

de valores recomendada por Warncke e Krauskopf (1983) (0,35 a 0,65 mS/cm), resultado da sua elevada percentagem em composto (75%), enquanto que as modalidades A, C e D apenas possuem 50% de composto.

Quadro 9: pH e condutividade elétrica (CE), no extrato aquoso 1:5 (v/v), dos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e dos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).

Substrato	pH	CE (mS/cm)
A	5,59 <sub>c</sub>	0,50 <sub>c</sub>
B	5,58 <sub>c</sub>	0,77 <sub>b</sub>
C	5,59 <sub>c</sub>	0,52 <sub>c</sub>
D	5,60 <sub>c</sub>	0,55 <sub>c</sub>
T	6,33 <sub>a</sub>	0,04 <sub>e</sub>
CO	5,69 <sub>b</sub>	0,85 <sub>a</sub>
CP	5,39 <sub>d</sub>	0,02 <sub>e</sub>
FC	5,20 <sub>e</sub>	0,18 <sub>d</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ). A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

No quadro 10 é possível observar que o composto é o substrato com mais azoto mineral extraível (extrato aquoso 1:5, em volume), sendo que a fibra de coco, a casca de pinheiro e a turfa apresentam os valores mais baixos. Dentro das modalidades a B foi a que exibiu a maior concentração, consequência dos 75% de composto da sua constituição. As modalidades A, C e D, devido a possuírem 50% de composto, também apresentaram uma quantidade considerável de azoto extraível, não diferindo muito entre si neste parâmetro. Abad *et al.* (1993) consideram a gama de valores entre os 100 e os 199 mg/kg como a ideal para a concentração de  $\text{NO}_3^-$ , sendo que apenas o composto e as modalidades A, B e C se enquadram. Com a adição de composto aos restantes materiais aumentou-se o teor de azoto disponível no substrato, tal como observado por Costa (2018).

Quadro 10: Teores de azoto nítrico ( $\text{N-NO}_3^-$ ), azoto amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e azoto mineral nos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e nos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco), no extrato aquoso 1:5 (v/v).

Substrato	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	N mineral (mg/L)
A	106,62 <sub>c</sub>	197,93 <sub>c</sub>	304,54 <sub>c</sub>
B	140,25 <sub>b</sub>	278,45 <sub>b</sub>	418,70 <sub>b</sub>
C	115,96 <sub>c</sub>	201,86 <sub>c</sub>	317,82 <sub>c</sub>
D	99,93 <sub>c</sub>	214,78 <sub>c</sub>	314,70 <sub>c</sub>
T	4,99 <sub>d</sub>	4,09 <sub>d</sub>	9,08 <sub>d</sub>
CO	177,06 <sub>a</sub>	389,99 <sub>a</sub>	567,05 <sub>a</sub>
CP	1,09 <sub>d</sub>	5,24 <sub>d</sub>	6,34 <sub>d</sub>
FC	1,42 <sub>d</sub>	4,27 <sub>d</sub>	5,70 <sub>d</sub>
*Rec. de sementeira	50-200	<75	-

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

\*Valores recomendados, adaptados de Ansorena-Miner (1994).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

No quadro 11 constata-se que os valores de fósforo extraível das modalidades A, B, C e D é consideravelmente superior ao recomendado para sementeira, destacando-se a modalidade B, devido à sua elevada percentagem em composto, sem diferenças significativas entre as restantes. A turfa utilizada não possuía qualquer fósforo e a casca de pinheiro e fibra de coco demonstraram valores meramente residuais. Desta forma os valores elevados deste elemento nas modalidades são pura influência do composto, material o qual possui a maior concentração.

No caso do potássio extraível apenas os valores da casca de pinheiro, fibra de coco e turfa (material com a menor percentagem de potássio) são inferiores ao recomendado, sendo novamente o composto a apresentar a maior concentração, seguido consequentemente pela modalidade B (modalidade com 75% de composto).

Relativamente ao cálcio extraível, todos os valores obtidos foram inferiores ao recomendado, sendo, no entanto, o resultado mais significativo o da fibra de coco e não havendo diferenças significativas entre as modalidades A, B, C, D e o composto. Estes valores reduzidos podem ser justificados pelo facto de o cálcio ser um elemento pouco solúvel, uma vez que a extração foi feita com água.

Para o magnésio extraível todos os valores foram muito reduzidos, tendo sido o valor mais elevado o da fibra de coco, seguido pelas modalidades B e D, as quais não diferem significativamente.

Os valores mais elevados de enxofre extraível foram os do composto, seguido pelas modalidades B e D, com as modalidades A e C sem diferenças significativas. A

fibra de coco apresentou valores consideravelmente mais baixos, sendo, no entanto, a turfa e a casca de pinheiro os materiais com menor concentração deste elemento.

A presença de sódio em excesso no substrato é prejudicial para o desenvolvimento das plantas, uma vez que o sódio é um elemento capaz de influenciar a capacidade das plantas para absorver, transportar e utilizar alguns nutrientes. Todos os valores encontram-se dentro da gama adequada, excetuando a fibra de coco, valor o qual ultrapassa ligeiramente o máximo espectável.

É possível constatar assim que a mistura de composto enriquece o substrato, principalmente quando combinado com turfa e casca de pinheiro, materiais os quais são mais pobres em nutrientes. De uma forma geral as modalidades A, B, C e D apresentam uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas do que a turfa, fibra de coco e casca de pinheiro.

Quadro 11: Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) dos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e dos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).

Substrato	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	S (mg/L)	Na (mg/L)
A	124,96 <sub>c</sub>	70,83 <sub>c</sub>	45,41 <sub>b</sub>	9,09 <sub>d</sub>	100,54 <sub>d</sub>	29,10 <sub>d</sub>
B	176,85 <sub>b</sub>	80,13 <sub>b</sub>	51,94 <sub>b</sub>	11,91 <sub>b</sub>	160,46 <sub>b</sub>	35,08 <sub>c</sub>
C	101,71 <sub>c</sub>	54,12 <sub>e</sub>	47,91 <sub>b</sub>	10,85 <sub>bc</sub>	102,77 <sub>d</sub>	25,58 <sub>e</sub>
D	120,48 <sub>c</sub>	59,40 <sub>d</sub>	43,51 <sub>b</sub>	9,87 <sub>cd</sub>	114,79 <sub>c</sub>	36,05 <sub>bc</sub>
T	0,00 <sub>e</sub>	3,38 <sub>h</sub>	22,90 <sub>c</sub>	4,49 <sub>e</sub>	4,17 <sub>f</sub>	6,37 <sub>g</sub>
CO	202,89 <sub>a</sub>	86,62 <sub>a</sub>	42,21 <sub>b</sub>	10,02 <sub>cd</sub>	189,92 <sub>a</sub>	37,79 <sub>b</sub>
CP	4,42 <sub>e</sub>	22,98 <sub>g</sub>	4,93 <sub>d</sub>	0,42 <sub>f</sub>	2,65 <sub>f</sub>	11,55 <sub>f</sub>
FC	4,08 <sub>e</sub>	32,26 <sub>f</sub>	64,03 <sub>a</sub>	15,23 <sub>a</sub>	31,81 <sub>e</sub>	56,12 <sub>a</sub>
*Rec. De sementeira	19-55	51-250	>200	16-85	-	<50

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

\*Valores recomendados, adaptados de Ansorena-Miner (1994).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

No quadro 12 encontram-se representados os resultados referentes aos micronutrientes extraíveis (extrato aquoso 1:5, em volume) presentes nos substratos. A fibra de coco é o material mais rico em ferro extraível, seguida pela modalidade D (que contém 25% de fibra de coco), sendo a modalidade C a que possui menos ferro das quatro estudadas. A concentração de cobre extraível não é significativamente diferente

entre o composto e as quatro modalidades, sendo em todas baixa, no entanto foi nula na turfa, casca de pinheiro e fibra de coco. No caso do manganês extraível não foram encontrados vestígios na turfa e a concentração mais elevada foi a do composto, seguida pelas modalidades, sem que estas difiram muito entre si. Relativamente ao boro, o valor mais elevado corresponde à fibra de coco, seguida pelo composto e casca de pinheiro, tendo sido os valores mais reduzidos referentes à turfa e à modalidade C (50% de turfa).

Quadro 12: Teores de ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e boro (B) nos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e nos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).

Substrato	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Mn (mg/L)	B (mg/L)
A	0,898 <sub>bc</sub>	0,032 <sub>ab</sub>	0,116 <sub>bc</sub>	0,120 <sub>c</sub>
B	1,258 <sub>b</sub>	0,051 <sub>a</sub>	0,167 <sub>ab</sub>	0,124 <sub>c</sub>
C	0,507 <sub>cde</sub>	0,020 <sub>ab</sub>	0,101 <sub>cd</sub>	0,034 <sub>d</sub>
D	1,254 <sub>b</sub>	0,027 <sub>ab</sub>	0,101 <sub>cd</sub>	0,156 <sub>c</sub>
T	0,198 <sub>e</sub>	0,000 <sub>b</sub>	0,000 <sub>e</sub>	0,012 <sub>d</sub>
CO	0,850 <sub>bcd</sub>	0,027 <sub>ab</sub>	0,173 <sub>a</sub>	0,210 <sub>b</sub>
CP	0,387 <sub>de</sub>	0,000 <sub>b</sub>	0,064 <sub>d</sub>	0,239 <sub>b</sub>
FC	4,588 <sub>a</sub>	0,000 <sub>b</sub>	0,059 <sub>d</sub>	0,545 <sub>a</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

Relativamente à análise aos cloretos (quadro 13), os resultados demonstram que é a fibra de coco que possui a maior concentração, seguida pelo composto e pela modalidade D (única modalidade com fibra de coco - 25%), sem que esta difira muito da modalidade B (única modalidade com 75% de composto). A turfa e casca de pinheiro são os substratos correspondentes às concentrações mais baixas de cloretos.

Quadro 13: Cloretos presentes nos substratos em estudo (modalidades A, B, C e D) e nos materiais que lhes deram origem (T: turfa, CO: composto, CP: casca de pinheiro, FC: fibra de coco).

Substrato	Cloretos (mg/L)
A	65,0 <sub>de</sub>

B	94,5 <sub>c</sub>
C	70,9 <sub>d</sub>
D	106,4 <sub>bc</sub>
T	35,5 <sub>f</sub>
CO	118,2 <sub>b</sub>
CP	47,3 <sub>ef</sub>
FC	189,1 <sub>a</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).  
A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

Relativamente aos teores totais de metais pesados, obtiveram-se os resultados apresentados no quadro 14. Os valores de metais pesados presentes no composto foram consideravelmente superiores aos dos restantes materiais. A acumulação de metais pesados é também um problema muito menos grave na produção de espécies florestais/ornamentais em comparação com o uso para produções com finalidade de consumo humano ou animal (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005).

Uma vez que não existem valores tabelados referentes a metais pesados para uso de substratos em viveiro, recorreu-se aos valores limites da legislação portuguesa de compostos com finalidade de se aplicar ao solo. Segundo esta mesma legislação (D.L. 103/2015) a turfa, a fibra de coco e a casca de pinheiro enquadram-se na classe I, a qual corresponde a solo com finalidade para a agricultura. O composto, devido às suas elevadas concentrações em metais pesados, nomeadamente em zinco e cobre, pertence à classe II A, ou seja, só pode ser utilizado em culturas agrícolas arbóreas e arbustivas nomeadamente pomares, olivais e vinhas e ainda espécies silvícolas.

Quadro 14: Valores médios de zinco (Zn), níquel (Ni), chumbo (Pb), cádmio (Cd), crómio (Cr) e cobre (Cu) presentes nos materiais que deram origem às modalidades (CO: composto; CP: casca de pinheiro; T: turfa; FC: fibra de coco).

Substrato	Zn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)
CO	955,95 <sub>a</sub>	24,37 <sub>a</sub>	25,60 <sub>a</sub>	1,07 <sub>a</sub>	60,48 <sub>a</sub>	227,47 <sub>a</sub>
CP	13,38 <sub>bc</sub>	1,45 <sub>d</sub>	0,78 <sub>d</sub>	0,35 <sub>b</sub>	3,69 <sub>c</sub>	4,05 <sub>c</sub>
T	3,93 <sub>c</sub>	3,26 <sub>c</sub>	5,10 <sub>b</sub>	0,22 <sub>c</sub>	4,56 <sub>c</sub>	6,04 <sub>c</sub>



FC	22,10 <sub>b</sub>	12,56 <sub>b</sub>	2,84 <sub>c</sub>	0,33 <sub>b</sub>	37,26 <sub>b</sub>	12,04 <sub>b</sub>
*Classe I	200	50	100	0,7	100	100
*Classe II	500	100	150	1,5	150	200
*Classe II A	1000	200	300	3,0	300	400
*Classe III	1500	200	500	5,0	400	600

\*Limite máximo admissíveis para os teores de metais pesados (D.L. 103/2015).

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

### 4.1.3. Ensaio com agrião-de-jardim

Segundo Zucconi *et al.* (1985), valores de índice de germinação inferiores a 60% indicam uma estabilização incompleta da matéria orgânica e, conseqüentemente, a presença de substâncias tóxicas, fator que pode ser decisivo na utilização de um composto. Obteve-se um índice de germinação de 100% em todos os substratos, não tendo o composto afetado a germinação, mesmo com os elevados valores de condutividade elétrica obtidos (quadro 15).

Sendo o índice de germinação 100% em todos os casos o índice de crescimento radicular e o índice MLVI foram iguais, tendo sido o composto o portador do valor mais baixo e a fibra de coco o mais alto.

Relativamente ao comprimento das raízes, foi na fibra de coco que estas mais cresceram, seguida pela casca de pinheiro, tendo as raízes menos desenvolvidas correspondido ao composto. Entre as modalidades as B, C e D obtiveram os resultados mais promissores, no entanto sem que as modalidades B e C difiram da A, a qual ainda é similar à turfa (figura 10).

Quadro.15: Valores do índice de germinação, comprimento das raízes e Índice de Vitalidade de Munoo-Liisa (MLVI) dos substratos.

Substrato	Índice de Germinação (%)	Comprimento das raízes (cm)	MLVI (%)
A	100	4,2 <sub>c</sub>	94,2 <sub>c</sub>
B	100	4,7 <sub>bc</sub>	103,2 <sub>bc</sub>
C	100	4,9 <sub>bc</sub>	109,0 <sub>bc</sub>
D	100	5,3 <sub>b</sub>	117,6 <sub>b</sub>

T	100	4,5 <sub>bc</sub>	100,0 <sub>bc</sub>
CO	100	3,2 <sub>d</sub>	70,1 <sub>d</sub>
CP	100	5,2 <sub>b</sub>	114,7 <sub>b</sub>
FC	100	7,4 <sub>a</sub>	164,5 <sub>a</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

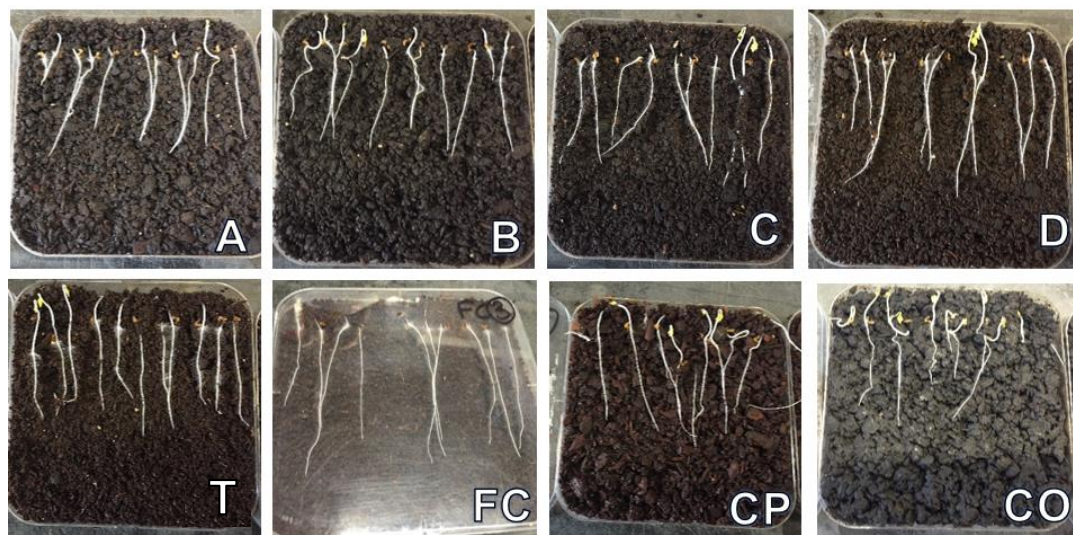


Figura 10: Resultados do ensaio de germinação das modalidades A, B, C e D, turfa (T), fibra de coco (FC), casca de pinheiro (CP) e composto (CO).

Com estes resultados é de salientar que o composto não afetou a germinação e que, quando presente nas misturas, obteve raízes tão desenvolvidas como no controlo (turfa), tendo já Ostos et al. (2008) considerado substratos com base em composto adequados para o estabelecimento de plantas.

## 4.2. Ensaio de crescimento de espécies florestais em contentores

De forma a avaliar a resposta por parte das plantas aos substratos, realizou-se um ensaio de crescimento em contentores próprios para espécies florestais, com eucalipto, pinheiro bravo e pinheiro manso.

## 4.2.1. Eucalipto

### 4.2.1.1. Germinação das sementes e crescimento das plantas

De uma forma geral as percentagens de germinação dos eucaliptos, apresentadas na figura 11, foram baixas, no entanto as modalidades não diferem significativamente entre si uma vez que na ANOVA se obteve um valor de p de 0,06.

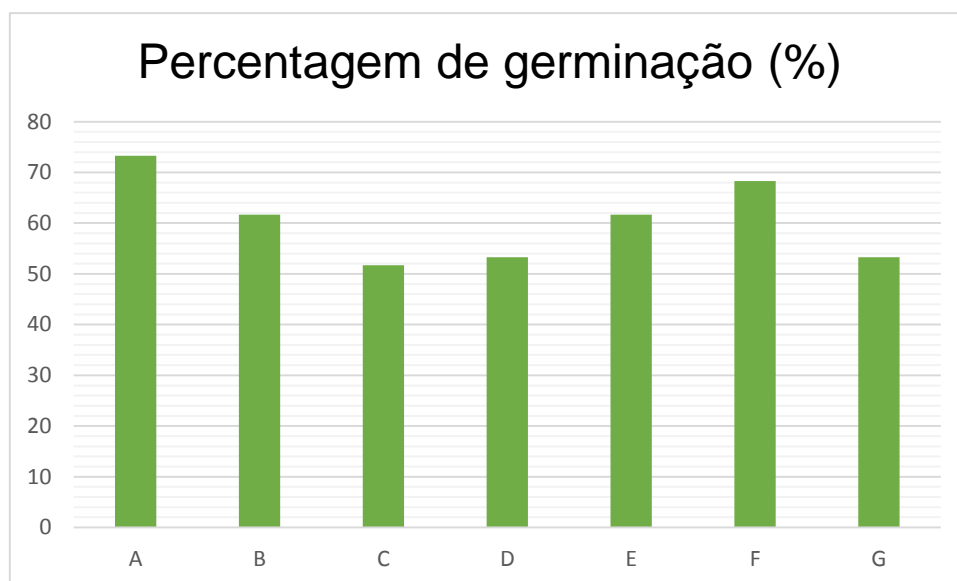


Figura 11: Valores médios da percentagem de germinação dos eucaliptos por modalidade (A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro).

Segundo o quadro 16, não houve diferenças significativas entre a altura das diferentes plantas de eucalipto ( $p=0,8$ ). A modalidade D foi a que apresentou maior diâmetro do colo, seguida pelas modalidades C, B e A, tendo sido as modalidades de turfa (E, F e G) as que originaram os menores valores.

Relativamente à área foliar, os melhores resultados correspondem à modalidade D, sendo que as quatro modalidades com composto não diferem significativamente entre si. As modalidades com 100% de turfa (E, F e G) foram as que demonstraram um menor crescimento foliar, sendo que os valores obtidos para F e G foram significativamente inferiores aos obtidos para a modalidade D.

A nível de crescimento radicular, não se observaram diferenças significativas entre as modalidades, excetuando a modalidade E (100% T com a mesma fertilização que as modalidades A, B, C e D), onde se observou um menor crescimento.

É possível constatar que a adição de composto teve efeitos muito positivos no crescimento dos eucaliptos, uma vez que foi nas modalidades com 100% de turfa onde as plantas menos se desenvolveram, apesar da fertilização extra das modalidades F e G.

Relativamente à leitura SPAD (leitura bem correlacionada com o teor de clorofila nas folhas), a modalidade B, contendo 75% de composto, apresentou o valor mais elevado, evidenciando, novamente, que o composto disponibiliza nutrientes. As modalidades E e F, apresentaram os resultados mais baixos da leitura SPAD, apesar de à modalidade E se ter aplicado a mesma fertilização (3 g/L adubo NPK) que às modalidades com composto e da modalidade F ter, ainda, recebido uma fertilização extra com micronutrientes. As modalidades A, C e D não diferem significativamente entre si e originaram valores de leitura SPAD superiores à modalidade G, modalidade constituída apenas por turfa, com micronutrientes e com a maior fertilização NPK (4 g/L).

Quadro 16: Valores médios da altura, diâmetro do colo, leitura SPAD, área foliar e classificação das raízes dos eucaliptos desenvolvidos no ensaio em tabuleiros.

Modalidade	Altura (cm)	Diâmetro do colo (mm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Classificação das raízes (0-5)	Leitura SPAD
A	28,17	2,61 <sub>bc</sub>	183,98 <sub>abc</sub>	3,67 <sub>a</sub>	45,542 <sub>ab</sub>
B	27,83	2,62 <sub>bc</sub>	184,76 <sub>abc</sub>	3,21 <sub>a</sub>	48,4658 <sub>a</sub>
C	29,17	2,84 <sub>ab</sub>	210,22 <sub>ab</sub>	3,38 <sub>a</sub>	44,8325 <sub>bc</sub>
D	29,29	3,00 <sub>a</sub>	221,24 <sub>a</sub>	3,67 <sub>a</sub>	47,7875 <sub>ab</sub>
E	27,29	2,30 <sub>d</sub>	133,43 <sub>d</sub>	2,31 <sub>b</sub>	38,3108 <sub>e</sub>
F	30,13	2,54 <sub>cd</sub>	177,86 <sub>bc</sub>	3,19 <sub>a</sub>	38,833 <sub>de</sub>
G	27,96	2,57 <sub>cd</sub>	167,81 <sub>cd</sub>	3,48 <sub>a</sub>	41,9325 <sub>cd</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

No quadro 17 encontram-se representados os valores referentes à biomassa da parte aérea dos eucaliptos. Relativamente ao peso fresco do caule, os valores não diferiram muito, tendo-se observado uma maior diferença entre as modalidades no peso seco do caule, onde se destacou a modalidade D, no entanto sem diferir significativamente das restantes modalidades com 100% de turfa, tendo sido a modalidade E a que obteve um menor peso do caule seco.

No caso do peso da folhas já se notou uma maior diferença entre as modalidades, sendo que no peso fresco das folhas se destacou a modalidade D, sem diferenças significativas entre A e C e tendo os valores da modalidade D não diferido

consideravelmente das modalidades F e G. Para o peso seco os resultados foram similares, tendo novamente a modalidade D os valores mais promissores, sem diferir, no entanto, com C e A. Para o peso total as conclusões passíveis de tirar são equivalentes.

Quadro 17: Valores médios do peso fresco e peso seco dos caules, folhas e total da parte aérea dos eucaliptos desenvolvidos no ensaio em tabuleiros.

Modalidade	Peso fresco (g/planta)			Peso seco (g/planta)		
	caule	Folhas	Total	caule	Folhas	Total
A	1,43 <sub>ab</sub>	3,75 <sub>ab</sub>	5,18 <sub>ab</sub>	0,439 <sub>ab</sub>	1,094 <sub>abc</sub>	1,53 <sub>abc</sub>
B	1,40 <sub>ab</sub>	3,67 <sub>b</sub>	5,08 <sub>b</sub>	0,444 <sub>ab</sub>	1,058 <sub>bc</sub>	1,50 <sub>bc</sub>
C	1,62 <sub>a</sub>	4,21 <sub>ab</sub>	5,83 <sub>ab</sub>	0,518 <sub>ab</sub>	1,259 <sub>ab</sub>	1,78 <sub>ab</sub>
D	1,75 <sub>a</sub>	4,60 <sub>a</sub>	6,34 <sub>a</sub>	0,549 <sub>a</sub>	1,356 <sub>a</sub>	1,91 <sub>a</sub>
E	1,03 <sub>b</sub>	2,49 <sub>c</sub>	3,51 <sub>c</sub>	0,302 <sub>c</sub>	0,678 <sub>d</sub>	0,98 <sub>d</sub>
F	1,41 <sub>ab</sub>	3,41 <sub>b</sub>	4,82 <sub>b</sub>	0,419 <sub>bc</sub>	0,962 <sub>c</sub>	1,38 <sub>c</sub>
G	1,41 <sub>ab</sub>	3,40 <sub>b</sub>	4,82 <sub>b</sub>	0,423 <sub>bc</sub>	0,945 <sub>cd</sub>	1,37 <sub>c</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

Em termos gerais, a nível do crescimento dos eucaliptos, as modalidades D e C destacaram-se, apesar de em alguns dos parâmetros avaliados não se terem observado diferenças significativas para as restantes modalidades com composto. Observou-se ainda, que o crescimento nas modalidades D e C foi, em muitos dos parâmetros avaliados, superiores ao obtidos para as modalidades com 100% de turfa, nomeadamente ao das modalidades que tiveram uma fertilização extra: F e G. Desta forma constata-se que houve um crescimento considerável das plantas com composto no substrato, evidenciando que o seu uso é uma solução de reciclagem interessante para bio-sólidos e um benefício para a produção em viveiros de espécies florestais, tal como defendido por Hernández-Apaolaza *et al.* (2005). É ainda de salientar que estes valores demonstram o quanto a turfa precisa de uma fertilização de micronutrientes, quando comparada com o composto, uma vez que os valores obtidos para a modalidade E (turfa sem fertilização adicional) foram bastantes reduzidos, tendo os valores melhorado consideravelmente na modalidade F (turfa com fertilização extra em micronutrientes).

#### 4.2.1.2. Composição da parte aérea da planta

No quadro 18 encontram-se apresentados os teores de macronutrientes principais (azoto, fosforo e potássio) na parte aérea das plantas. As modalidades não diferiram significativamente em relação ao teor de azoto, sendo que o valor-p obtido na ANOVA foi de 0,2. No entanto, já foram realizados estudos onde se observou uma maior concentração de azoto em plantas produzidas em substratos com composto de lamas de ETAR, quando em comparação com turfa (Ostos *et al.*, 2008).

Relativamente ao teor de fósforo, as modalidades com composto superaram as modalidades com 100% de turfa, tendo obtido as maiores concentrações, sem que as quatro diferissem significativamente entre si. Este resultado está em concordância com os resultados apresentados no quadro 11, onde se observou que a adição de composto levou a um aumento significativo dos teores de fósforo extraível no substrato.

No caso do potássio, as modalidades E e F obtiveram as maiores concentrações na parte aérea. Este facto, pode ser explicado com os resultados apresentados no quadro 16, uma vez que foi nestas modalidades que as plantas tiveram um menor crescimento, tendo este elemento ficado mais concentrado na parte aérea. A modalidade D, a que, em termos gerais, originou um maior crescimento, foi a que apresentou plantas com menores teores de potássio.

Quadro 18: Teores médios de azoto (N), potássio (K), e fósforo (P) na parte aérea das plantas de eucalipto (g por kg de matéria seca).

Modalidade	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)
A	16,39	1,97 <sub>a</sub>	6,26 <sub>ab</sub>
B	16,62	1,91 <sub>a</sub>	5,85 <sub>bc</sub>
C	14,51	1,67 <sub>a</sub>	5,54 <sub>bc</sub>
D	18,07	1,80 <sub>a</sub>	5,01 <sub>c</sub>

E	17,39	1,07 <sub>b</sub>	6,96 <sub>a</sub>
F	16,60	0,81 <sub>b</sub>	6,37 <sub>ab</sub>
G	16,69	1,06 <sub>b</sub>	6,19 <sub>ab</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).  
A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

Relativamente ao cálcio e sódio (quadro 19) as modalidades não apresentaram diferenças significativas uma vez que, na ANOVA se obteve um valor de  $p$  superior a 0,5 (0,99 para o cálcio e sódio).

A nível de magnésio as modalidades com 100% de turfa destacaram-se, no entanto, os valores das modalidades A e D não diferiram muito dos valores das modalidades F e G, tendo sido a modalidade C a que apresentou um teor médio de magnésio mais baixo.

No caso do enxofre o composto claramente aumentou o seu teor nos substratos, sendo a modalidade B a que possuiu os valores mais elevados devido a ter 75% deste composto na sua constituição. As modalidades com 100% de turfa foram as que apresentaram os menores teores de enxofre, mas não diferiram significativamente das modalidades C e D.

Quadro 19: Teores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) na parte aérea das plantas de eucalipto (g por kg de matéria seca).

Modalidade	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	S (g/kg)	Na (g/kg)
A	10,34	2,86 <sub>bcd</sub>	1,95 <sub>ab</sub>	7,15
B	10,24	2,80 <sub>cd</sub>	2,03 <sub>a</sub>	6,95
C	9,89	2,58 <sub>d</sub>	1,76 <sub>bc</sub>	6,82
D	10,07	2,87 <sub>bcd</sub>	1,74 <sub>bc</sub>	7,15
E	10,31	3,33 <sub>a</sub>	1,68 <sub>c</sub>	7,24
F	10,26	3,23 <sub>ab</sub>	1,64 <sub>c</sub>	7,06
G	10,44	3,18 <sub>abc</sub>	1,62 <sub>c</sub>	7,16

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).  
A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

Quanto aos restantes micronutrientes (quadro 20), os teores de ferro não diferiram significativamente entre as diferentes modalidades ( $p=0,8$ ), mas os teores de cobre, zinco, manganês e boro aumentaram consideravelmente com a presença de composto no substrato, destacando-se a modalidade B (75% de composto) com os valores mais elevados, seguida pela A.

Quadro 20: Teores médios de ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) na parte aérea das plantas de eucalipto (mg por kg de matéria seca).

Modalidade	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)
A	74,4	13,4 <sub>a</sub>	91,2 <sub>a</sub>	302,3 <sub>b</sub>	15,5 <sub>ab</sub>
B	73,0	12,8 <sub>a</sub>	94,8 <sub>a</sub>	360,3 <sub>a</sub>	16,9 <sub>a</sub>
C	67,9	11,7 <sub>ab</sub>	77,0 <sub>b</sub>	239,1 <sub>c</sub>	13,4 <sub>b</sub>
D	64,9	10,3 <sub>abc</sub>	74,7 <sub>b</sub>	246,1 <sub>c</sub>	16,3 <sub>ab</sub>
E	70,7	10,9 <sub>abc</sub>	16,5 <sub>c</sub>	32,1 <sub>d</sub>	6,1 <sub>c</sub>
F	61,4	8,3 <sub>bc</sub>	15,5 <sub>c</sub>	32,7 <sub>d</sub>	6,9 <sub>c</sub>
G	73,0	7,9 <sub>c</sub>	17,8 <sub>c</sub>	37,8 <sub>d</sub>	7,7 <sub>c</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

Tendo em conta que as modalidades A, B, C, D e E levaram a mesma quantidade de fertilizante NPK (3 g/L), a modalidade F levou um suplemento com micronutrientes e a G, para além de também ter levado micronutrientes, ainda recebeu 1 g/L a mais de fertilizante NPK (4 g/L no total), estes resultados demonstram que o composto disponibiliza os micronutrientes essenciais para o crescimento das plantas, o que se pode vir a traduzir numa menor necessidade de fertilização com micronutrientes, em concordância com os resultados obtidos por Ribeiro *et al.* (2009) e Costa (2018). Desta forma poderá ser possível reduzir o custo associado à produção destas plantas.

## 4.2.2. Pinheiro Bravo

### 4.2.2.1. Germinação das sementes e crescimento das plantas

Na figura 12 encontram-se apresentadas as percentagens de germinação referentes aos pinheiros bravos. As modalidades não diferem significativamente entre si ( $p=0,4$ ), pelo que a utilização do composto não afetou negativamente a germinação das sementes.



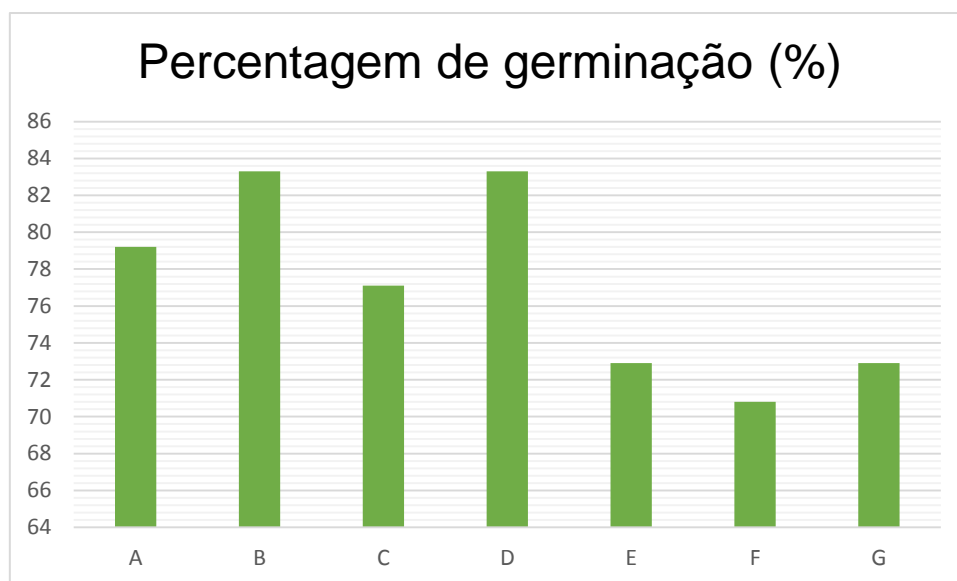


Figura 12: Valores médios referentes à percentagem de germinação dos pinheiros bravos por modalidade (A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro).

No caso do pinheiro bravo, observaram-se diferenças significativas entre a altura das plantas (quadro 21), sendo que a modalidade A demonstrou a maior média, sem, contudo, haver diferenças significativas entre as modalidades com composto. As médias mais baixas de altura manifestaram-se nas modalidades E e F, no entanto a modalidade G não apresentou diferenças significativas com as modalidades C e D.

Relativamente ao diâmetro do colo, os resultados foram similares em todas as modalidades, destacando-se as modalidades F e E com os valores tendencialmente mais baixos.

Relativamente ao peso fresco e seco das plantas, os resultados foram equivalentes, sendo a modalidade B a que apresenta a média mais alta, no entanto sem diferenças significativas com as modalidades A, C e D. Os valores da modalidade G, apesar de inferiores, aproximaram-se dos das modalidades A, C e D, sendo as modalidades E e F as que apresentam as médias mais baixas.

Na avaliação das raízes, foi nas modalidades com composto onde houve um maior crescimento radicular, significativamente superior ao obtido nas modalidades E e F. Nas modalidades com composto, a C foi a que obteve um valor significativamente mais baixo, similar à modalidade G.

Quadro 21: Valores médios da altura, diâmetro do colo, peso fresco, peso seco e classificação das raízes dos pinheiros bravos desenvolvidos no ensaio em tabuleiros.

Modalidade	Altura (cm)	Diâmetro do colo (mm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Classificação das raízes (0-5)
A	22,88 <sub>a</sub>	2,47 <sub>a</sub>	5,13 <sub>ab</sub>	1,29 <sub>ab</sub>	2,98 <sub>a</sub>
B	22,50 <sub>ab</sub>	2,54 <sub>a</sub>	5,49 <sub>a</sub>	1,38 <sub>a</sub>	3,27 <sub>a</sub>
C	21,46 <sub>abc</sub>	2,42 <sub>a</sub>	4,79 <sub>abc</sub>	1,19 <sub>abc</sub>	2,46 <sub>b</sub>
D	20,92 <sub>abc</sub>	2,40 <sub>a</sub>	5,02 <sub>abc</sub>	1,22 <sub>abc</sub>	3,23 <sub>a</sub>
E	19,46 <sub>cd</sub>	2,36 <sub>ab</sub>	4,22 <sub>cd</sub>	1,08 <sub>cd</sub>	1,33 <sub>d</sub>
F	18,67 <sub>d</sub>	2,12 <sub>b</sub>	3,50 <sub>d</sub>	0,92 <sub>d</sub>	1,71 <sub>cd</sub>
G	20,54 <sub>bcd</sub>	2,42 <sub>a</sub>	4,59 <sub>bc</sub>	1,16 <sub>bc</sub>	2,02 <sub>bc</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

No caso do pinheiro bravo, é de destacar a modalidade B, contendo 75% de composto, que originou, na maioria dos parâmetros avaliados, plantas com crescimento estatisticamente superior ao observado nas modalidades contendo apenas turfa (E, F, G) e estatisticamente igual ao das restantes modalidades com composto (A, C e D), indicando, assim, que esta espécie não terá sido afetada pela elevada salinidade do substrato.

A adição de composto teve um efeito positivo na disponibilidade de nutrientes, que se traduziu numa maior produção de biomassa, tal como observado por Beozzi (2013), que também obteve uma produção de biomassa significativamente superior nos substratos com composto.

### 4.2.3. Pinheiro Manso

#### 4.2.3.1. Germinação das sementes e crescimento das plantas

De uma forma geral as percentagens de germinação dos pinheiros mansos (figura 13) foram aceitáveis, não tendo as modalidades diferido significativamente entre si (obteve-se um valor de  $p$  de 0,3).

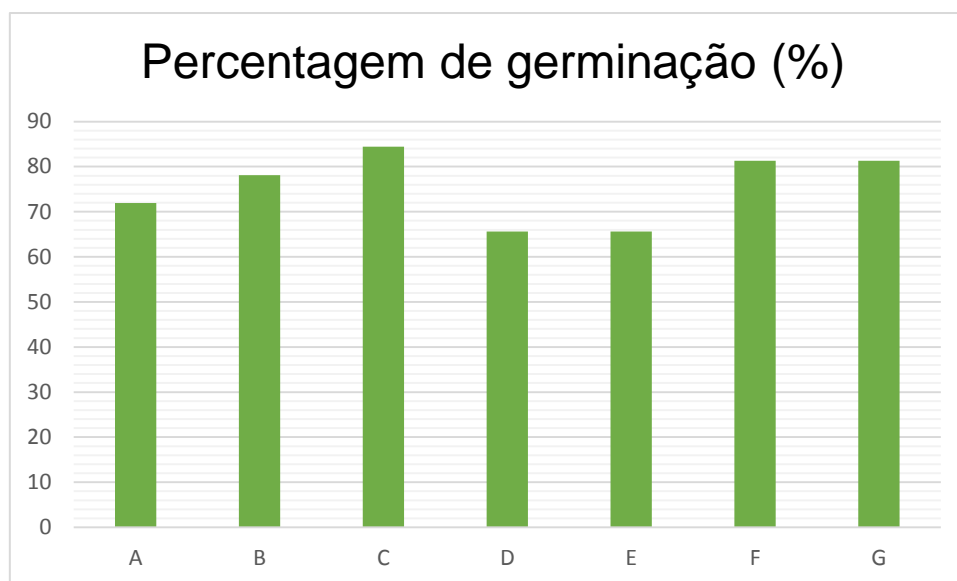


Figura 13: Valores médios da percentagem de germinação dos pinheiros mansos por modalidade (A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro).

No pinheiro manso constatou-se que foi nas modalidades B, C e D onde as plantas cresceram mais em altura, tendo a modalidade A obtido valores inferiores aos da modalidade F e muito próximos da G, correspondendo a média mais baixa à modalidade E (quadro 22).

No caso do diâmetro do colo foram novamente as modalidades com composto a obter os melhores resultados, destacando-se a modalidade D.

As modalidades E, F e G foram as que apresentaram raízes menos desenvolvidas, sendo de realçar uma diferença significativa entre os substratos só com turfa e os que levaram composto. Ostos *et al.* (2008) também constataram um melhor crescimento radicular nos substratos com composto de lamas de ETAR.

Os valores obtidos para o peso fresco e seco das plantas de pinheiro manso foi semelhante, sobressaindo a modalidade D com uma maior média em ambos os pesos, seguida pelas restantes modalidades com composto. A modalidade C, no entanto não apresentou diferença significativas com as modalidades E, F e G, relativamente ao peso fresco, e E e F, relativamente ao peso seco. Hernández-Apaolaza *et al.* (2005) também realizaram um ensaio onde se produziu pinheiros mansos em substratos com diferentes concentrações de um composto de lamas de ETAR, no entanto não foram observadas as diferenças significativas, aqui apresentadas, entre os substratos com composto e os sem.

Quadro 22: Valores médios da altura, diâmetro do colo, peso fresco e peso seco da parte aérea e classificação das raízes dos pinheiros mansos desenvolvidos no ensaio em tabuleiros.

Modalidade	Altura (cm)	Diâmetro do colo (mm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Classificação das raízes (0-5)
A	20,96 <sub>ab</sub>	3,31 <sub>abc</sub>	7,45 <sub>ab</sub>	2,15 <sub>ab</sub>	3,04 <sub>b</sub>
B	21,88 <sub>a</sub>	3,38 <sub>ab</sub>	7,42 <sub>ab</sub>	2,14 <sub>ab</sub>	3,75 <sub>a</sub>
C	21,93 <sub>a</sub>	3,27 <sub>abc</sub>	6,91 <sub>bc</sub>	1,95 <sub>bc</sub>	3,04 <sub>b</sub>
D	22,43 <sub>a</sub>	3,45 <sub>a</sub>	7,93 <sub>a</sub>	2,25 <sub>a</sub>	3,44 <sub>ab</sub>
E	19,21 <sub>c</sub>	3,20 <sub>bc</sub>	6,30 <sub>c</sub>	1,78 <sub>cd</sub>	1,56 <sub>c</sub>
F	21,17 <sub>ab</sub>	3,09 <sub>c</sub>	6,18 <sub>c</sub>	1,75 <sub>cd</sub>	1,83 <sub>c</sub>
G	19,96 <sub>bc</sub>	3,11 <sub>c</sub>	6,23 <sub>c</sub>	1,71 <sub>d</sub>	2,06 <sub>c</sub>

Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

A: 25%T+50%CO+25%CP, B: 25%T+75%CO, C: 50%T+50%CO, D: 25%T+50%CO+25%FC, E: 100%T, F:100%T+micro, G:100%T+micro+macro.

Num ensaio realizado por Ribeiro *et al.* (2009) com pinheiros mansos, concluiu-se que um substrato com 50% de um composto de lamas de ETAR seria adequado para a sementeira desta espécie. No presente trabalho, os resultados indicam que o composto estudado poderá ser mesmo usado até 75%. O nível de nutrientes no composto permitirá suprir parte das necessidades das plantas em macronutrientes e a totalidade das necessidades em micronutrientes, não sendo necessário aplicar mais micronutrientes ao substrato.

Numa fase inicial a adição de composto provoca um aumento do crescimento, resultante da maior disponibilidade de nutrientes (Ribeiro *et al.*, 2009), caso se usasse maiores concentrações de composto, muito provavelmente verificar-se-ia uma redução do crescimento, consequência das propriedades físicas desadequadas, nomeadamente retenção de água, e da salinidade.

## 5. Conclusões

A conjugação de todos os resultados obtidos neste trabalho permite-nos tirar as seguintes conclusões.

O composto tem um teor elevado de nutrientes vegetais, pelo que as modalidades com composto apresentaram, de um modo geral, uma maior concentração de nutrientes extraíveis, quando comparadas com a turfa, fibra de coco e casca de pinheiro. Este facto foi particularmente evidente na modalidade B, a modalidade com a maior percentagem de composto (75%).

A maior disponibilidade de nutrientes no composto origina, também, valores relativamente elevados de condutividade elétrica no substrato que, para espécies particularmente sensíveis à salinidade, poderá ser um fator limitante à utilização de doses elevadas de composto na formulação de substratos.

Apesar dos valores elevados de condutividade elétrica e de metais pesados no composto, a germinação não foi afetada e até se verificou um maior crescimento radicular nas modalidades com composto (mais evidente nos pinheiros manso e bravo).

O composto possui valores de arejamento muito elevados, deste modo, quando misturado com a turfa, melhora esta propriedade. Assim, com a mistura de 50% de turfa com 50% de composto conseguiu-se obter um substrato com bom arejamento e ainda com valores de capacidade de retenção de água dentro da gama de valores adequados.

Relativamente ao ensaio realizado com eucalipto, os parâmetros de crescimento avaliados revelaram que, de uma forma geral, os melhores resultados foram obtidos nas modalidades contendo 50% de composto e 50% de turfa ou turfa e fibra de coco (materiais com elevada retenção de água). Verificou-se, ainda, que nestes substratos com composto, os parâmetros de crescimento avaliados foram sempre superiores ou iguais aos obtido na modalidade G, modalidade contendo 100% turfa e uma fertilização adicional de macronutrientes e de micronutrientes.

No caso dos pinheiros, os parâmetros de crescimento avaliados revelaram que, de uma forma geral, os melhores resultados foram obtidos na modalidade B (contendo 75% de composto e 25% turfa) e nas modalidades C e D (contendo 50% de composto e 50% de turfa ou turfa e fibra de coco). Neste caso, quando comparado com o eucalipto, o bom desempenho da modalidade contendo 75% de composto (B), modalidade com maior salinidade e menor retenção de água disponível, poderá ser consequência do maior volume dos alvéolos (maior volume de água retida), da maior rusticidade e das menores taxas de crescimento dos pinheiros. Tal como no eucalipto, nestes substratos

com composto, os parâmetros de crescimento avaliados foram sempre superiores ou iguais aos obtidos na modalidade G, modalidade contendo 100% turfa e uma fertilização adicional de macronutrientes e de micronutrientes.

A utilização de composto no substrato (50 a 75% em volume) permitiu utilizar apenas 3 g/L de adubo NPK+Mg+S e obter crescimentos iguais ou mesmo superiores aos obtidos na modalidade contendo 100% turfa e 4 g/L de adubo NPK+Mg+S (G). Assim, o composto permitiu reduzir a quantidade de adubo contendo macronutrientes aplicado às plantas.

A utilização de composto no substrato (50 a 75% em volume) foi suficiente para suprir as necessidades nutricionais das plantas em micronutrientes, permitindo, assim, eliminar a adubação com micronutrientes.

Conclui-se, assim, com este trabalho, que a utilização do composto obtido a partir de lamas de ETAR e casca de pinheiro, em mistura com outros materiais, é uma opção fiável, capaz de reduzir consideravelmente o uso de turfa e de adubos na produção das plantas ensaiadas em viveiro, com vantagens ambientais e económicas. Com o uso de composto na agricultura é possível reaproveitar um resíduo, valorizar os nutrientes que este contém e, ainda, contribuir para a redução da extração de turfa, a qual está associada a graves problemas ambientais.

## 6. Referências Bibliográficas

Abad M, Noguera V, Martínez-Cortés J, Martínez-Herrer M, 1989. Physical and chemical properties of sedge peat-based media and their relation to plant growth. *Acta Horticulturae* **238**, 45–56.

Abad M, Martínez, P, Martínez M, Martínez J, 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo (Agronomic evaluation of substrates). *Acta Horticulturae* **11**, 141–154.

Abad M, Noguera P, Burés S, 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain. *Bioresource Technology* **77**, 197–200.

Alexander P, Bragg N, Meade R, Padelopoulos G, Watts O, 2008. Peat in horticulture and conservation: the UK response to a changing world. *Mires and Peat* **3**, 1-10.

Anshari G, Afifudin M, Nuriman M, Gusmayanti E, Arianie L, Susana R, Nusantara R, Sugardjito J, Rafiastanto A, 2010. Drainage and land use impacts on changes in selected peat properties and peat degradation in West Kalimantan Province, Indonesia. *Biogeosciences* **7**, 3403–3419.

Barkham J, 1993. For peat's sake: conservation or exploitation? *Biodiversity and Conservation* **2**, 556-566.

Beozzi S, 2013. *Valorização de Resíduos Orgânicos na Formulação de Substratos Alternativos à Turfa para a Produção de Plantas Aromáticas Envasadas em Modo de Produção Biológico*. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Agronomia, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre.

Beozzi S, Cabral F, Vasconcelos E, Ribeiro H, 2017. Organic production of potted parsley and coriander in coconut coir amended with compost. *Acta Horticulturae* **1168**, 295-302.

Brito L, Mourão I, 2018. Características dos substratos para horticultura: composição e características dos constituintes individuais dos substratos. *AGROTEC* **3**, 64-69.

Carrijo O, Liz R, Makishima N, 2002. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. *Horticultura Brasileira* **20**, 533-535.

CEN (1999a). EN 13040 - *Soil improvers and growing media, sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (1999b). EN 13037 - *Soil improvers and growing media, determination of pH*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (1999c). EN 13038 - *Soil improvers and growing media, determination of electrical conductivity*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (2001a). EN 13650 - *Soil improvers and growing media - Extraction of aqua regia soluble elements*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (2001b). EN 13652 - *Soil improvers and growing media - Extraction of water soluble nutrients and elements*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (2011a). EN 13041 - *Soil improvers and growing media - Determination of physical properties - Dry bulk density, air volume, water volume, shrinkage value and total pore space*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (2011b). EN 16086-1 - *Soil improvers and growing media - Determination of plant response - Part 1: Pot growth test with Chinese cabbage*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN (2011c). EN 16086-2 - *Soil improvers and growing media - Determination of plant response - Part 2: Petri dish test using cress*. European Committee for Standardization, Brussels.

Costa A, 2018. *Valorização de um Composto de Casca de Pinheiro e Lamas de ETAR como Substrato*. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Agronomia, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre.

Cruickshank M, Tomlinson R, Bond D, Devine P, Edwards C, 1995. Peat extraction, conservation and the rural economy in Northern Ireland. *Applied Geography* **15**, 365-383.

Cunha-Queda A, Ribeiro H, Ramos A, Cabral F, 2007. Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark. *Bioresource Technology* **98**, 3213–3220.

De Boodt M, Verdonck O, 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* **26**, 37-44.



Decreto-Lei nº 103/2015 de 15 de junho. Diário da República nº 114 - 1.ª Série. Ministério da Economia. Lisboa.

Evans T, 2009. Using composted biosolids as a peat replacement. *BIOSOLIDS IN EUROPE*, 1-11

Fain G, Gilliam C, Sibley J, Boyer C, 2008. Whole tree substrates derived from three species of pine in production of annual vinca. *Hortechology* **18**, 13-17.

Ferreira J, 1991. Substratos em horticultura. *O Pais Agrícola* **9**, 12.

Gruda N, Schnitzler W, 1999. Influence of wood fiber substrates and N application rates on the growth of tomato transplants. *Advances in Horticultural Science* **13**, 20-24.

Hernández-Apaolaza L, Gascó A, Gascó J, Guerrero F, 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresource Technology* **96**, 125–131.

Herrera F, Castillo J, Chica A, Bellido L, 2008. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Bioresource Technology* **99**, 287–96.

Horneck D, Miller R, 1998. Determination of Total Nitrogen in Plant Tissue. In: Kalra, Y.-P., Ed., *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*, CRC Press, New York, pp. 75-83.

Houba V. J. G., Van der Lee J. J., Novozamsky I. e Walling I., 1989. *Soil and Plant Analysis, Part 5. Soil Analysis Procedures*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Agricultural University.

Lamim A, Jordão C, Pereira J, Bellato C, 2001. Caracterização química e física de turfa litorânea e avaliação da adsorção competitiva por cobre e zinco. *Química Nova* **24**, 18-23.

Miner J, 1994. *Substratos, Propiedades y Caracterización*. Espanha: Ediciones Mundi-Prensa.

Moldes A, Cendo Y, Barral M, 2007. Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design. *Bioresource Technology* **98**, 3069-3075.

Nunes E, Quilhó T, Pereira H, 1999. Anatomy and chemical composition of *Pinus pinea* L. bark. *Annals of Forest Science* **56**, 479-484.

Ostos J, López-Garrido R, Murillo J, López R, 2008. Substitution of peat for municipal solid waste- and sewage sludge-based composts in nursery growing media:

Effects on growth and nutrition of the native shrub *Pistacia lentiscus* L. *Bioresource Technology* **99**, 1793–1800

Raviv R, 2014. Composts in growing media: feedstocks, composting methods and potential applications. *Acta Horticulturae* **1018**, 513-524.

Ribeiro H, Romero A, Pereira H, Borges P, Cabral F, Vasconcelos E, 2007. Evaluation of a compost obtained from forestry wastes and solid phase of pig slurry as a substrate for seedlings production. *Bioresource Technology* **98**, 3294–3297.

Ribeiro H, Vasconcelos E, Cabral F, Ribeiro D, 2009. Fertilization of *Pinus pinea* L. seedlings with a sewage sludge-based compost. *Waste Management & Research* **27**, 112–118.

Robertson R, 1993. Peat, horticulture and environment. *Biodiversity and Conservation* **2**, 541-547.

Schmitz J, Souza P, Kämpf A, 2002. Physical and chemical properties of substrats with mineral and organic origin for growth of otted plants. *Ciência Rural* **32**, 937-944.

Silva R, Spinelli D, Filho W, Neto S, Chierice G, Tarpani J, 2006. Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites. *Composites Science Technology, Barking* **66**, n.10, 1328-1335.

Stoffela P, Kahn B, 2005. *Utilizacion De Compost En Los Sistemas De Cultivo Hortícola*. Madrid, Espanha: Ediciones Mundi-Prensa.

Schmilewski G, 2008. The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires and Peat* **3**, 1-8.

Tyler H, Warren S, Bilderback T, Fonteno W, 1993. Composted turkey litter: I. effect on chemical and physical properties of a pine bark Substrate. *Environmental Horticulture* **11**, 131-136.

Tonks A, Aplin P, Berirod D, Cooper H, Evers S, Vane C, Sjögersten S, 2017. Impacts of conversion of tropical peat swamp forest to oil palm plantation on peat organic chemistry, physical properties and carbon stocks. *Geoderma* **289**, 36-45.

Verdonck O. e Gabriels R., 1992. Reference Method for the Determination of Physical Properties of Plant Substrates. II. Reference Method for the Determination of Chemical Properties of Plant Substrates. *Acta Horticulturae* **302**, 169-179.

Warncke D e Krauskopf M, 1983. Greenhouse Growth Media: Testing & Nutrition Guidelines. Michigan State University Coop. *Extension Bulletin*, E-1736.

Zucconi F, Monaco A, Forte M, De Bertoldi M, 1985. *Phytotoxins during the stabilization of organic matter. Elsevier Applied Science Publishers, 73–86.*